

TNO Rapport

**TNO | Kennis voor zaken**



**20090213210**



Oude Waalsdorperweg 63  
Postbus 96864  
2509 JG Den Haag

[www.tno.nl](http://www.tno.nl)

T +31 70 374 00 00

F +31 70 328 09 61

[info-DenV@tno.nl](mailto:info-DenV@tno.nl)

**TNO-rapport**

**TNO-DV 2008 A418**

**Operationele oceanografie en  
'Rapid Environmental Assessment'**

Datum	november 2008
Auteur(s)	dr. L.A. te Raai dr. F.P.A. Lam dr. ir. M.W. Schouten
Rubricering rapport	Ongerubriceerd
Vastgesteld door	LTZ.I B.E.A Kerstens
Vastgesteld d.d.	4 november 2008 (Deze rubricering wijzigt niet)
Titel	Ongerubriceerd
Managementuittreksel	Ongerubriceerd
Samenvatting	Ongerubriceerd
Rapporttekst	Ongerubriceerd
Bijlage	Ongerubriceerd
Exemplaarnummer	8
Oplage	31
Aantal pagina's	54 (incl. bijlage, excl. RDP & distributielijst)
Aantal bijlagen	1

Alle rechten voorbehouden. Niets uit dit rapport mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht van het ministerie van Defensie werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van de opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de 'Modelvoorwaarden voor Onderzoeks- en Ontwikkelingsopdrachten' (MVDT 1997) tussen de minister van Defensie en TNO indien deze op de opdracht van toepassing zijn verklaard dan wel de betreffende ter zake tussen partijen gesloten overeenkomst.

© 2008 TNO

AQ F09-05-01877

## Operationele oceanografie en 'Rapid Environmental Assessment'

Tijdens het proces van 'Rapid Environmental Assessment' (REA) wordt informatie over de omgeving verzameld ter voorbereiding en ondersteuning van een militaire operatie. TNO heeft een overzicht gemaakt van sensoren, platforms en modellen die in gebruik zijn binnen de operationele oceanografie. Aan de hand hiervan wordt aangegeven waar nieuwe kansen en mogelijkheden voor de KM liggen in het gebruik van operationele oceanografie in REA.



### Probleemstelling

Bij alle militaire operaties is het van groot belang om te beschikken over actuele informatie over tactisch relevante omgevingsfactoren. Deze informatie komt samen in een 'Recognized Environmental Picture' (REP). Het proces waarin deze kennis wordt verzameld wordt 'Rapid Environmental Assessment' (REA) genoemd. Om de oceanografische component van REA te kunnen uitbreiden en verbeteren is kennis van militaire en civiele operationele oceanografie van belang. Bij de KM is deze kennis op het

moment onvoldoende aanwezig.

De Defensie en Materieel Organisatie (DMO) heeft daarom aan TNO gevraagd een overzicht te maken van de stand van zaken binnen de operationele oceanografie. De werkzaamheden zijn uitgevoerd in het programma V512 'Sonar en Onderwaterpropagatie'.

### Beschrijving van de werkzaamheden

Er is een inventarisatie gemaakt van sensoren, platforms en computermodellen die in de operationele oceanografie

momenteel gebruikt worden. Daarnaast zijn trends en ontwikkelingen in de operationele oceanografie bekeken. De uitgevoerde werkzaamheden bestonden uit het verzamelen van informatie via vakliteratuur en internet. Relevante kennis is ook verkregen door het uitvoeren van simulaties met een operationeel oceanografisch model. Daarnaast is gebruik gemaakt van opgedane kennis en ervaring door eerdere deelname aan trials, conferenties en workshops.

### Resultaten en conclusies

Het gemaakte overzicht laat zien dat de operationele oceanografie sterk in ontwikkeling is. In de operationele oceanografie wordt gebruik gemaakt van een veelheid aan sensoren, platforms en modellen. Vooral AUV's, gliders (een speciaal soort langzame AUV met een veel groter bereik dan een standaard AUV), drijvende boeien (floats) en satellieten worden de laatste jaren steeds meer gebruikt. AUV's en gliders ontwikkelen zich snel. Er zijn verschillende soorten operationele oceanografische modellen: drie-dimensionale oceaanmodellen, golfmodellen en modellen voor oppervlaktedrift. Deze modellen leveren



verwachtingen van grootheden die relevant zijn voor REA, zoals temperatuur, geluidssnelheid, stroomsnelheid en golfhoogte.

### Toepasbaarheid

Diverse mogelijke toepassingen van operationele oceanografie die van belang kunnen zijn voor tactische producten in REA zijn geïdentificeerd:

- verbetering van voorspellingen van sonarprestatie met behulp van verwachtingen van geluidssnelheid;
- ondersteuning van de planning van AUV- en glidermissies door

verwachtingen van stroomsnelheid en -richting;

- ondersteuning bij het plannen van amfibische operaties door gebruikmaking van golfproducten als significante golfhoogte;
- ondersteuning van 'Mine Counter Measures' (MCM) met verwachtingen van gebieden waarin drijvende mijnen zich kunnen bevinden;
- ondersteuning in zoek- en reddingsoperaties met verwachtingen van zoekgebieden.

PROGRAMMA	PROJECT
Programmabegeleider LTZ1 B.E.A. Kerstens, DMO/DWS&B/RZS&B/Sensor- en Wapentechnologie (SWT)	Projectbegeleider LTZ1 B.E.A. Kerstens, DMO/DWS&B/RZS&B/Sensor- en Wapentechnologie (SWT)
Programmaleider dr. ir. J.C. Sabel TNO Defensie en Veiligheid	Projectleider dr. F.P.A. Lam TNO Defensie en Veiligheid
Programmatitel Sonar en onderwaterpropagatie	Projecttitel Oceanografische Modelling
Programmanummer V512	Projectnummer 032.11199
Programmaplanning Start 1 januari 2005 Gereed 31 december 2008	Projectplanning Start 11 december 2006 Gereed 31 december 2008
Toezichthouder -	
Frequentie van overleg Met de programma/projectbegeleider werd een aantal keer gesproken over de invulling en de voortgang van het onderzoek.	Projectteam dr. F.P.A. Lam dr. L.A. te Raa dr. ir. M.W. Schouten

### Contact en rapportinformatie

Oude Waalsdorperweg 63  
Postbus 96864  
2509 JG Den Haag

T +31 70 374 00 00  
F +31 70 328 09 61

info-DenV@tno.nl

**TNO-rapportnummer**  
TNO-DV 2008 A418

**Opdrachtnummer**  
-

**Datum**  
november 2008

**Auteur(s)**  
dr. L.A. te Raa  
dr. F.P.A. Lam  
dr. ir. M.W. Schouten

**Rubricering rapport**  
ongerubriceerd



## Summary

For any military operation, the timely acquisition of relevant, accurate and reliable information about the environment is critical. This process, called Rapid Environmental Assessment (REA), focuses on meteorological, oceanographic, hydrographic and geological information. The result is a Recognized Environmental Picture (REP). Based on literature studies as well as on the expertise we have built up over the years, TNO has made an overview of the types of sensors, platforms and models that are currently being used in operational oceanography. This report illustrates the current status of military and civilian operational oceanography with many examples of state-of-the-art operational models and sensors. The focus lies on the contribution that operational oceanographic products may give to tactical products needed for REA.

Several opportunities were identified. Firstly, models for sonar performance prediction such as ALMOST are often based on only one sound speed profile. Operational oceanographic models can provide range dependent forecasts of sound speed, in combination with bathymetric information, of an area around the ship's position that can alter the probability of detection dramatically. Secondly, forecasts of ocean currents from operational oceanographic models could be used in the planning of AUV missions, optimizing the AUV's range and efficiency by making use of the currents. Thirdly, information about the surf zone, such as significant wave height, can be crucial for amphibious operations. Tactical products based on such information can for instance be used to determine if a landing with a certain type of vessel can be performed safely at a certain time. Finally, drift models are important tools in search and rescue operations. They can also deliver forecasts of the area in which floating objects such as mines can be expected to be found.

Tactical products based on the above mentioned opportunities could contribute significantly to the maritime component of REA and could thus improve the future REP. The intention is to continue research on one or more of these possibilities in the programme V931 'Omgeving en onderwaterbeeldopbouw', in close collaboration with parties involved at RNLN. In addition, continued cooperation within our international network will ensure that new trends and developments that can contribute to the improvement of REA will be followed.

# Inhoudsopgave

	<b>Managementuittreksel .....</b>	<b>2</b>
	<b>Summary .....</b>	<b>4</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding.....</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Oceanografische sensoren en observaties .....</b>	<b>10</b>
2.1	Metingen vanaf schepen.....	10
2.2	Boeien.....	11
2.3	Verankeringen .....	13
2.4	Satellieten .....	14
2.5	Floats .....	15
2.6	AUV's .....	16
2.7	Onderwater 'gliders' .....	17
2.8	Camera en video .....	18
<b>3</b>	<b>Drie-dimensionale oceaanmodellen.....</b>	<b>19</b>
3.1	Oceaanpredictiesystemen.....	19
3.2	Tactische producten .....	24
3.3	Onderzoek en internationale programma's.....	25
<b>4</b>	<b>Golfmodellen en modellen voor de brandingszone .....</b>	<b>27</b>
4.1	Inleiding .....	27
4.2	Golfmodellen .....	28
4.3	Voorbeelden .....	31
4.4	Tactische producten .....	36
<b>5</b>	<b>Modellen van oppervlakedrift.....</b>	<b>39</b>
5.1	Input en output.....	39
5.2	Voorbeelden en tactische producten.....	41
<b>6</b>	<b>Samenvatting en conclusies .....</b>	<b>44</b>
<b>7</b>	<b>Referenties.....</b>	<b>46</b>
<b>8</b>	<b>Ondertekening .....</b>	<b>48</b>
	<b>Bijlage(n)</b>	
	A Operationele oceanografie in de praktijk	

# 1 Inleiding

## Achtergrond en motivatie

Bij alle militaire operaties is tijdige acquisitie en analyse van tactisch relevante omgevingsinformatie van groot belang. Dit proces wordt '*Rapid Environmental Assessment*' (REA) genoemd. REA is een belangrijk onderdeel van '*Battle Space Preparation*', waarbij niet alleen de omgeving maar ook de tegenstander in kaart gebracht wordt en waarbij ook de koppeling met de eigen eenheden gemaakt wordt. Het resultaat van het REA proces is een '*Recognized Environmental Picture*' (REP): een dynamisch beeld van de omgeving waarin de operatie plaatsvindt. Deze omgeving omvat de domeinen meteorologie, oceanografie, hydrografische diensten en geografie.

Voor een REP is niet alleen informatie over de huidige situatie van belang, maar ook betrouwbare verwachtingen van de omgevingsituatie op tijdschalen van enkele uren tot dagen vooruit zijn zeer belangrijk. Dit betekent dat niet alleen informatie wordt verzameld door het doen van metingen van diverse relevante grootheden, maar dat ook systemen nodig zijn die verwachtingen maken van de toekomstige toestand van de omgeving. Daarnaast is ook de inter- en/of extrapolatie van observaties voor de huidige situatie van belang, omdat nu eenmaal niet op alle locaties gemeten kan worden.

De Koninklijke Marine (KM) onderscheidt vier fases of categorieën in het REA-proces [1]. Tijdens de eerste fase wordt de gegevensbehoefte geïnventariseerd en worden zoveel mogelijk gegevens verzameld uit databases, verkenningen en met satelliet sensoren (het verkrijgen van informatie over het oceaan- en aardoppervlak met behulp van satellieten wordt ook wel *remote sensing* genoemd). Tijdens de volgende twee fases worden gegevens ter plaatse (in situ) verzameld, eerst *overt* (openlijk) en daarna *covert* (ongezien). Tijdens deze fases wordt bijvoorbeeld gebruik gemaakt van remote sensing of van AUVs. Fase 4 vindt plaats tijdens de uitvoering van de operatie en is dan ook vooral van belang voor snel veranderende data. Overigens hoeven niet alle fases in iedere operatie voor te komen. Zo zal voor een vredesmissie bijvoorbeeld geen fase van covert data-acquisitie nodig zijn. Door de grote hoeveelheid informatie en het operationele karakter zijn het dataverkeer en de hiervoor benodigde netwerken en infrastructuur belangrijke factoren in het REA proces.

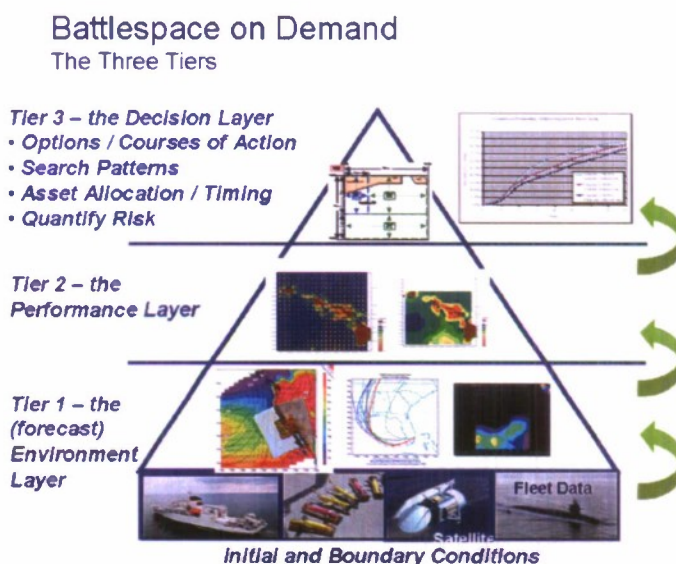
Binnen de operationele oceanografie wordt actuele en gedetailleerde informatie over de huidige en te verwachten toestand van de maritieme omgeving verzameld en verspreid. Dit gebeurt door het doen van metingen en met computermodellen. De modelproducten die door de operationele oceanografie geleverd worden kunnen daarmee een grote rol spelen in de oceanografische component van REA. Typische modelproducten van operationele oceanografie zijn bijvoorbeeld temperatuur- en saliniteitsvelden, geluidssnelheid, stromingen, getijden, oppervlakedrift, (significante) golfhoogte, en breedte van de brandingszone.

Alle informatie die in het REA proces verzameld wordt moet uiteindelijk verwerkt worden tot tactische producten zoals schema's, kaarten en getallen, aan de hand waarvan snelle besluitvorming mogelijk is. De overgang van omgevingsinformatie naar tactische producten, via informatie over de prestatie van sensoren, wordt geïllustreerd in figuur 1. De operationeel oceanografische modellen en sensoren bevinden zich in de onderste laag van de piramide. De informatie die aan de hand hiervan verkregen wordt zal in de tweede laag gebruikt worden als invoer voor modellen voor het bepalen van de



prestatie van sensoren. Een voorbeeld van een model in deze laag is het door TNO ontwikkelde model ALMOST voor de voorspelling van sonarprestatie. De tactische en operationele producten van de bovenste laag bouwen weer voort op deze informatie. Een goede kwaliteit en betrouwbaarheid van de tactische en operationele producten kan dan ook alleen bereikt worden als de modelproducten die hiervoor de basis vormen zelf ook van goede kwaliteit zijn.

De tactische producten die voor REA van belang zijn zullen worden gemaakt door het REA Coördinatie Centrum. Dit bestaat uit enkele leden van het Maritime Environmental Information Centre van de Hydrografische Dienst (zogenaamde HYD en/of METOC cellen, zie [1]). Het REA Coördinatie Centrum beschikt onder andere over een zogenaamde METOC Toolbox. Deze bevat onder meer een mobiel waarnemingssysteem met diverse sensoren en een serie 'tactical decision aids', waaronder diverse programma's voor de prestatie van sensoren.



Figuur 1 Schematische weergave van het verband tussen omgeving en tactische producten. In de onderste laag bevinden zich de modellen en sensoren waarmee omgevingsinformatie wordt verzameld. Deze informatie wordt in de tweede laag als invoer gebruikt om de prestatie van sensoren te bepalen. Aan de hand van deze informatie worden uiteindelijk de tactische en operationele producten gemaakt van de bovenste laag gemaakt. Deze figuur komt uit een presentatie van E.C. Gough, Jr. (CNMOC Deputy Commander & Technical Director US Navy), gegeven tijdens de REA conferentie in Lerici (Italië) op 25 september 2007.

### Doelstelling en uitvoering van het project

Voor het goed uitvoeren van REA is het van belang dat Defensie goed op de hoogte is van de laatste ontwikkelingen op het gebied van operationele oceanografie. Eén van de doelen binnen het project 'Oceanografische Modelling', dat deel uitmaakt van het V512 programma 'Sonar en Onderwaterpropagatie', is dan ook het verkrijgen van kennis over recente ontwikkelingen in de operationele oceanografie. Een tweede doelstelling is het aangeven waar kansen en mogelijkheden liggen voor de KM in het gebruik van data en modellen uit de operationele oceanografie voor REA.

Trends en ontwikkelingen in de operationele oceanografie zijn gevolgd door:

- het bijhouden van vakliteratuur;
- het bijwonen van conferenties en workshops (de REA workshops in december 2004 en september 2007 in Lerici, Italië en de EuroGoos conferentie in mei 2008 in Exeter, VK;
- deelname aan NURC trial 'Battle Space Preparation 2007' (BP07, in het kader van een A1 project 'Battle Space Preparation') en aan de NURC trials MREA03 en MREA04 gedurende de voorloper van het huidige programma, het V029 programma;
- het draaien van het operationele oceaanmodel HOPS (Harvard Ocean Prediction System).

In contacten met het internationale netwerk (NURC, MIT, NRL) is ook inzicht verkregen in de huidige stand van zaken en de manier van werken binnen de operationele oceanografie. Daarnaast heeft TNO zo de status van en de prioriteiten binnen de ontwikkelingen op het gebied van de operationele oceanografie bij andere landen kunnen volgen.

Over het HOPS model en de met dit model opgedane ervaring wordt gerapporteerd in het TNO rapport 'Operational ocean modelling with the Harvard Ocean Prediction System (HOPS)' [8]. De invloed van operationeel oceanografische informatie op akoestische modellering en sonarprestatie wordt beschreven in het rapport 'Range-dependent acoustic modelling' [9].

### **Belangrijke concepten**

Om een goed beeld te krijgen van de huidige en de te verwachten toestand van de maritieme omgeving kunnen zowel *observaties* als *modeloutput* worden gebruikt. Modelproducten uit de operationele oceanografie zijn vrijwel altijd op beide gebaseerd. In principe geven observaties, binnen de meetfout, de beste weergave van de omgevingssituatie ter plaatse op het tijdstip van de observatie. Over het algemeen kan echter maar op een beperkt aantal locaties gemeten worden en daarnaast is juist vaak ook *vantevoren* informatie gewenst over de te verwachten toestand tijdens een operatie. Daarom wordt in de operationele oceanografie bijna altijd gebruik gemaakt van modellen waarmee verwachtingen gemaakt kunnen worden. Deze modellen zijn gebaseerd op natuurkundige vergelijkingen die de ontwikkeling van de oceaan in de tijd beschrijven. Om deze modellen zo dicht mogelijk bij de werkelijke situatie te houden, worden beschikbare observaties tijdens de modelrun opgenomen in het model (een proces aangeduid met de term *data-assimilatie*). De modeloutput is op deze manier een beste schatting van beschikbare observaties en modeldynamica.

### **Inhoud en structuur van dit rapport**

Dit rapport geeft een overzicht van de huidige stand van zaken en recente ontwikkelingen in de operationele oceanografie. Daarnaast wordt aangegeven welke modelproducten een bijdrage kunnen leveren aan tactische producten die van belang zijn voor REA. Dit rapport richt zich vooral op de ontwikkelingen in en toepassingen van operationele oceanografie. De benodigde infrastructuur wordt in dit rapport niet expliciet behandeld. Toepassingen die aan de orde komen zijn het gebruik van:

- (rangeafhankelijke) verwachtingen van geluidssnelheid voor het verbeteren van voorspellingen van sonarprestatie;
- verwachtingen van stroomsnelheid en -richting ter ondersteuning van de planning van AUV missies;

- golfproducten als significante golfhoogte en karakteristieken van de brandingszone bij het plannen van amfibische operaties;
- verwachtingen van gebieden waarin drijvende objecten zoals drenkelingen of mijnen zich kunnen bevinden voor zoek- en reddingsoperaties ('search and rescue') en MCM (mine counter measures).

In hoofdstuk 2 worden diverse sensoren en manieren van data-acquisitie beschreven die binnen de operationele oceanografie gebruikt worden. Daarna worden drie soorten modellen beschreven waarmee verwachtingen gemaakt kunnen worden voor delen van de maritieme omgeving. Als eerste zijn dit de drie-dimensionale oceaanmodellen waarmee verwachtingen gemaakt worden van onder andere stroming, temperatuur en saliniteit aan het oppervlak en in de waterkolom (hoofdstuk 3). Golfmodellen en modellen voor de brandingszone worden beschreven in hoofdstuk 4. Daarna wordt in hoofdstuk 5 gekeken naar modellen van oppervlakedrift, die bijvoorbeeld gebruikt worden in zoek- en reddingsoperaties, bij de bestrijding van de verspreiding van giftige stoffen en olievlekken en bij het bepalen van de drift van drijvende oppervlaktemijnen. Aan de hand van voorbeelden wordt in deze hoofdstukken geïllustreerd wat voor tactische producten gemaakt kunnen worden aan de hand van de beschreven modeloutput. De conclusies volgen in hoofdstuk 6.



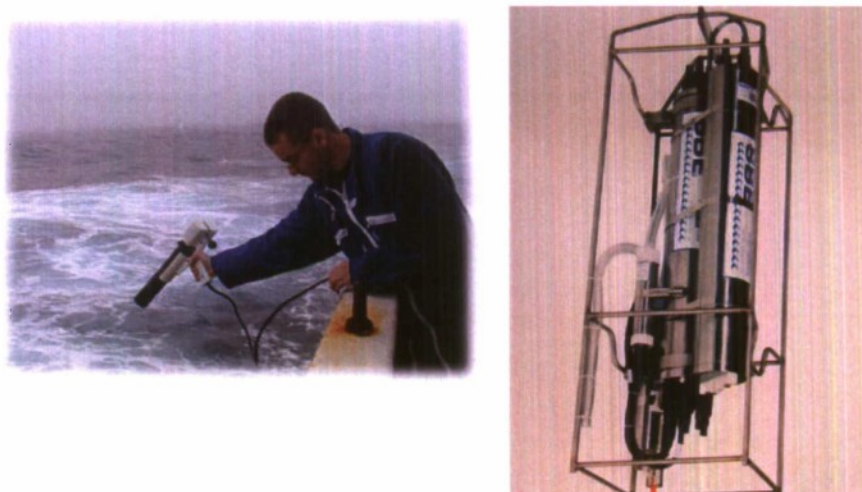
## 2 Oceanografische sensoren en observaties

Een belangrijke component van operationele oceanografie bestaat uit het verkrijgen van actuele informatie over de toestand van de oceaan. Deze informatie kan direct gebruikt worden voor het verkrijgen van een Rapid Enviromental Picture (REP), of worden gebruikt als input voor modellen van de drie-dimensionale (3D) oceaan, drift of golven. Een heel scala aan meetplatforms is beschikbaar voor het doen van observaties. Deze worden hieronder elk kort besproken.

### 2.1 Metingen vanaf schepen

Veel oceanografische gegevens worden verkregen door het doen van metingen vanaf schepen. Nadelen hiervan zijn dat metingen op deze manier relatief duur zijn, lokaal zijn (slechts in een zeer klein gebied kunnen gegevens verzameld worden), en slechts een momentopname weergeven. Dit betekent dat ruimtelijke en temporele variabiliteit vaak niet goed meegenomen wordt. Voordeel van metingen vanaf schepen is dat ze vaak zeer nauwkeurig zijn, dat ook diepteafhankelijke informatie verkregen wordt en dat ook grootheden gemeten kunnen worden zoals saliniteit, die nog niet eenvoudig op andere wijze verkregen kunnen worden.

Met XBT's (Expandable BathyThermograph) kan het temperatuurprofiel gemeten worden tot een diepte die varieert van 200 m tot ongeveer 1800 m. Een XBT bestaat typisch uit een acquisitiesysteem (bijvoorbeeld een laptop) aan boord, een temperatuurprobe en een apparaatje om de probe mee te lanceren (figuur 2). Via een dunne geleidende draad geeft de probe de gemeten temperatuurgegevens real-time door aan het acquisitiesysteem. De XBT is zo gemaakt dat de probe met een vaste snelheid omlaag valt, zodat de diepte bepaald kan worden uit de tijd sinds lancering. Met XBT's kunnen zo snel en vrij eenvoudig temperatuurprofielen bepaald worden.

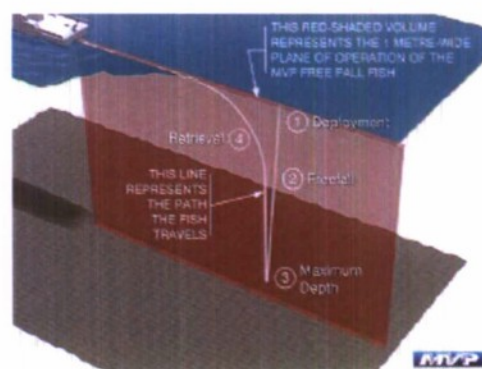


Figuur 2 Voorbeelden van een XBT (links) en een CTD (rechts). Deze foto's zijn afkomstig van [http://www.coriolis.eu.org/english/research-vessels/equipment/xbt\\_ctd.htm](http://www.coriolis.eu.org/english/research-vessels/equipment/xbt_ctd.htm) en <http://www.jamstec.go.jp>.

Temperatuurprofielen kunnen ook bepaald worden met behulp van CTD-systemen (figuur 2), waarbij CTD staat voor 'Conductivity, Temperature, Depth'. Naast temperatuur meet dit systeem ook conductiviteit en druk. De laatste kan

eenvoudig worden omgerekend in diepte. Een CTD laat men zakken aan een kraan tot de gewenste diepte, waarna hij weer binnengehaald wordt. Het schip moet hiervoor stil liggen. In diep water kan het nemen van een CTD profiel vrij tijdrovend zijn: het meten van één profiel (omlaag en omhoog) kan dan enkele uren in beslag nemen.

Een recenter en veelbelovend instrument voor het bepalen van verticale profielen van diverse grootheden is de MVP (Moving Vessel Profiler, zie figuur 3). Dit autonome systeem bevat een lier, een kleine kraan en een vrij vallende vis met sensoren. Het grote voordeel van dit systeem is dat het kan werken terwijl het schip doorvaart. Het kan vanaf de brug bediend worden, zodat geen extra inspanning van personeel aan dek nodig is. Binnen de KM worden met een MVP geluidssnelheids- en temperatuurprofielen gemeten. Het is echter ook mogelijk om andere sensoren (bijvoorbeeld voor saliniteit) toe te voegen.



Figuur 3 Een MVP op het dek van de Snellius (links) en een schematische weergave van de werking van een MVP (rechts).

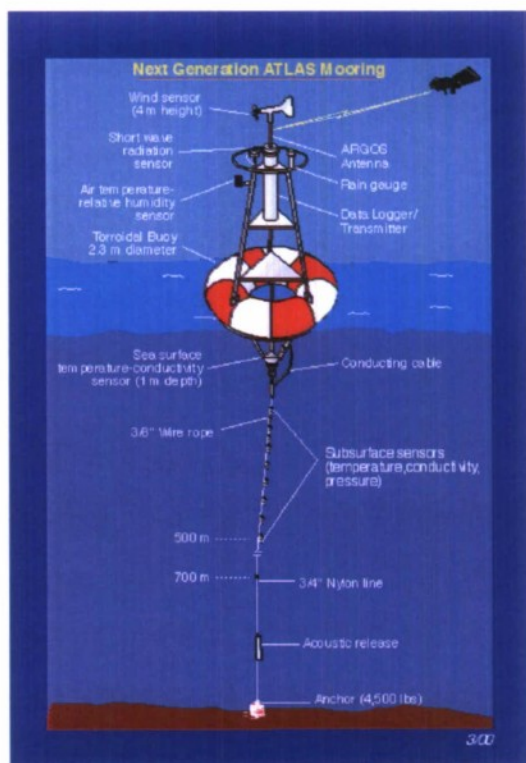
## 2.2 Boeien

In veel gevallen zijn meetgegevens over een langere periode dan een sea-trial nodig. Een mogelijkheid is om instrumenten op een vaste plaats in zee uit te zetten met een verankerde boei (figuur 4).



Figuur 4 Verankerde boei met sensoren bij ESTOC (European Station for Time series in the ocean) oceaanstation in de Noordoostelijke Atlantische Oceaan.

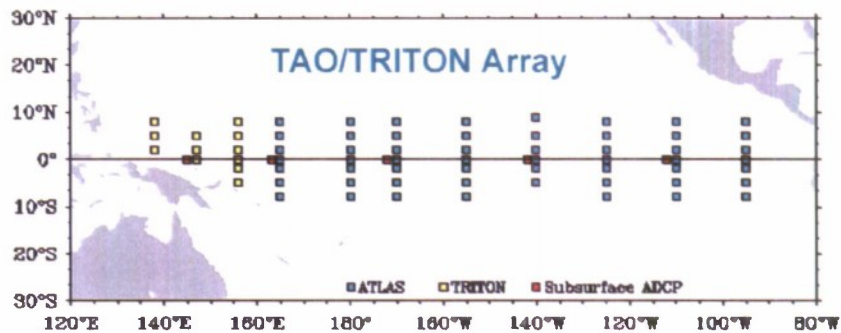
Een schematische weergave van een dergelijke verankerde boei is te zien in figuur 5. Een kabel waaraan sensoren bevestigd worden wordt (min of meer) verticaal gehouden tussen het bodemgewicht aan de onderkant en de boei aan de bovenzijde. Met sensoren bevestigd aan verankerde boeien kunnen veel grootheden, zoals temperatuur en saliniteit in de waterkolom, stroomsnelheid en -richting, maar ook de hoogte en periode van golven en diverse meteorologische grootheden gemeten worden. De gegevens worden door de boei via satellieten doorgestuurd naar de wal.



Figuur 5 Schematische weergave van een verankering met boei.

Verankerde boeien worden in de civiele operationele oceanografie bijvoorbeeld gebruikt om het optreden van een El Niño te voorspellen. Tijdens een El Niño, die ongeveer eens in de vier jaar voorkomt, wordt niet alleen het water in de tropische Stille Oceaan abnormaal warm, maar treden ook sterke klimaatveranderingen op in veel tropische en subtropische gebieden op aarde, met overstromingen of juist grote droogtes tot gevolg. In het Tropical Atmosphere- Ocean (TAO)-Triton array liggen op ongeveer 70 locaties in de tropische Stille Oceaan verankerde boeien (figuur 6).





Figuur 6 Locaties van de verschillende verankerde boeien van het TAO/Triton array waarmee het El Niño verschijnsel gemonitord wordt.

Met de verankerde boeien van het TAO-Triton array worden onder andere temperatuur en saliniteit op verschillende dieptes, en stroomsnelheid en -richting gemeten. Deze laatste twee worden in het geval van TAO-Triton boeien gemeten met behulp van ADCP's (acoustic current doppler profilers, zie figuur 7). Deze sensoren zenden een akoestisch signaal uit dat reflecteert aan in het water zwevende deeltjes. Uit de Dopplerverschuiving van het terug ontvangen signaal wordt de snelheid van de deeltjes en daarmee van het water bepaald.



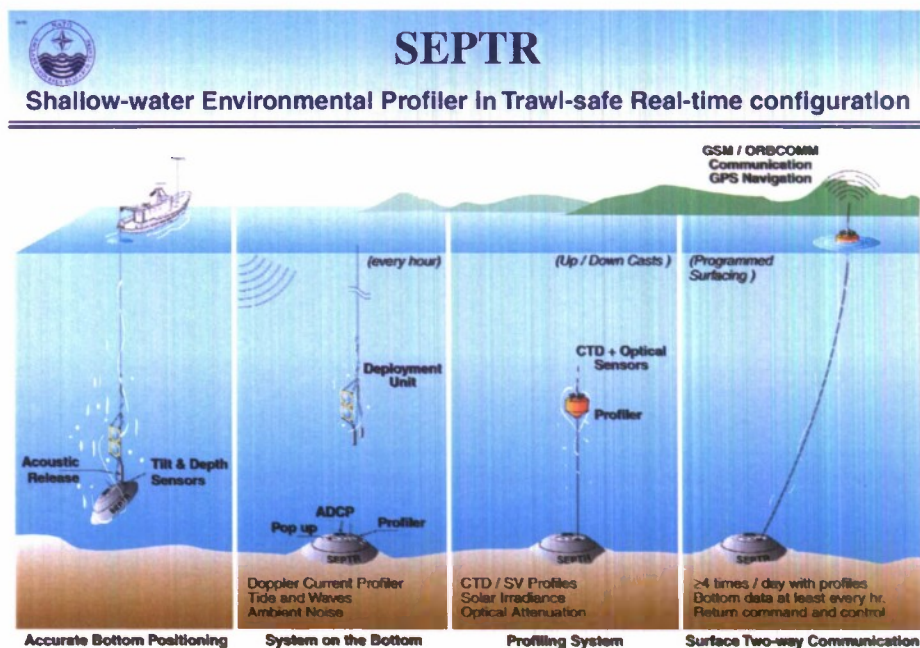
Figuur 7 Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP).

Verankerde boeien met sensoren voor temperatuur en druk bij de oceaانبodem worden gebruikt in tsunami-waarschuwingssystemen. Op dit gebied zijn veel ontwikkelingen gaande, zeker na de verwoestende tsunami van eind 2004 in de Indische Oceaan.

### 2.3 Verankeringen

In sommige gevallen komt de bovenkant van de verankering niet aan het oppervlak. De kabel wordt dan door drijvers onder water verticaal gehouden. Afhankelijk van de behoefte kan gekozen worden voor een verankering waarbij de data worden opgeslagen en pas uitgelezen nadat de verankering na verloop van tijd (bijvoorbeeld een jaar, afhankelijk van de batterijcapaciteit) weer opgehaald is, of voor een verankering waarbij de data (bijvoorbeeld via een akoestisch onderwaternetwerk) in real-time beschikbaar komt. Bij het ophalen van de verankering wordt de kabel met sensoren via een akoestische ontkoppeling losgemaakt van het bodemgewicht en weer binnengehaald.

Een voorbeeld van een recent door NURC ontwikkeld verankeringsysteem is SEPTR (Shallow-water Environmental Profiler in Trawl-safe Real-time configuration). Dit bestaat uit een vast bodemplatform en een beweegbare unit. Het bodemplatform bevat een ADCP, een golf/getijdenmeter en een sensor voor omgevingsruis. De beweegbare unit is met een kabel bevestigd aan het bodemplatform en maakt met CTD sensoren autonoom verticale profielen van de waterkolom op dieptes tot 100 m (figuur 8). In dit geval worden de data in near-real time ontvangen.



Figuur 8 Schematische weergave van het SEPTR systeem.

## 2.4 Satellieten

Een grote beperking van het doen van oceanografische waarnemingen vanaf schepen, of in verankerings, is vaak de zeer beperkte ruimtelijke en/of temporele bedekkingsgraad van de meetpunten. Via sensoren aan boord van satellieten kunnen diverse oceanografische grootheden met een redelijke tot goede ruimtelijke en temporele resolutie gemonitord worden. Daartegenover staat dat via sensoren aan boord van satellieten alleen informatie over grootheden aan het oppervlak verkregen wordt (en niet in de waterkolom). Alleen voor zeer ondiep water kan ook diepteafhankelijke optische informatie verkregen worden.

Satellieten kunnen zowel passieve als actieve sensoren bevatten. Passieve sensoren (waarbij alleen signaal ontvangen wordt) zijn bijvoorbeeld spectrometers (werkzaam in het zichtbaar licht), infrarode radiometers en passieve microgolf radiometers. Actieve sensoren zijn radarinstrumenten zoals radarhoogtemeters, scatterometers en Synthetische Apertuur Radar (SAR) [2]. Wolkenbedekking kan de databedekking van optische en infrarode satellietsensoren sterk reduceren. Dit probleem speelt vooral op gematigde breedtes, en is in West-Europa bijvoorbeeld dus een serieus nadeel van deze sensoren. Radar heeft dit nadeel niet.



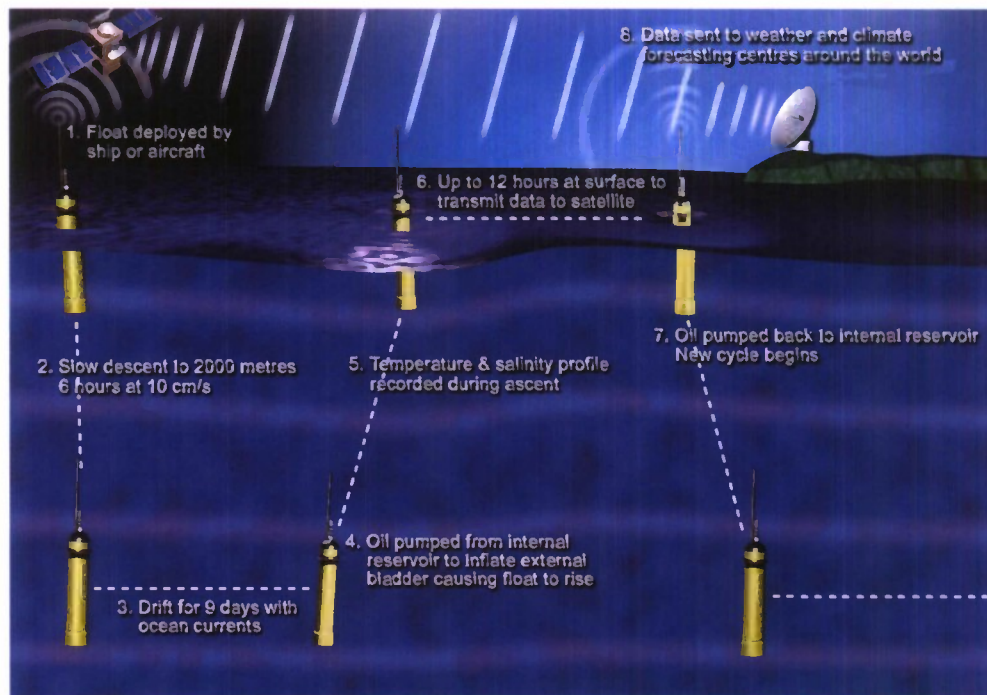
Voorbeelden van oceanografische grootheden die via satellietsensoren waargenomen worden zijn:

- golfhoogte met radarhoogtemetingen, en richtingsafhankelijke golfspectra met Synthetische Apertuur Radar (SAR);
- oceaanstromingen met radarhoogtemeters;
- wind aan het oppervlak met scatterometer (ongeveer 50 km resolutie) en SAR (ongeveer 10 km resolutie);
- oppervlaktetemperatuur, fronten en eddies (wervels) met infrarode radiometers
- zeewaterkleur, concentraties van chlorofyl en gesuspendeerd sediment met optische spectrometer data.

Ook kunnen bijvoorbeeld zeeijsconcentraties bepaald worden. Een grootheid als saliniteit wordt nog niet standaard waargenomen via satellietsensoren, maar technieken die gebruiken maken van passieve microgolf radiometrie worden hiervoor ontwikkeld [2].

## 2.5 Floats

Een tegenwoordig veelgebruikte methode voor oceanografische data acquisitie is het gebruik van floats of drifters. Deze boeien drijven aan het oppervlak of op een bepaalde diepte met de stroming mee en sturen op gezette tijden meetgegevens door. Boeien die niet aan het oppervlak zitten hebben een blaas waar via een mechanische pomp vloeistof in- en uitgepompt kan worden. Hierdoor verandert het drijfvermogen van de boei en beweegt deze omlaag of omhoog in de waterkolom. Tijdens het omhoog komen worden temperatuur en zoutgehalte gemeten (figuur 9). Naast deze gegevens wordt ook de positie van de boei doorgegeven, zodat ook zijn snelheid bepaald kan worden.

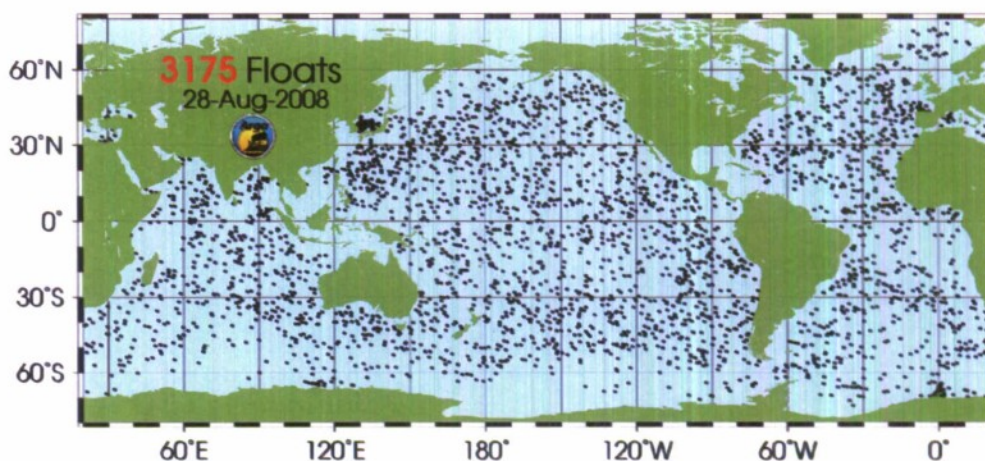


Figuur 9 Schematische weergave van de meetcyclus van een float.

Floats worden gebruikt om de oceaanstromingen in kaart te brengen, voor studies naar dispersie en menging, en voor het verkrijgen van informatie over voornamelijk temperatuur en saliniteit in de waterkolom.



Het ARGO programma is een succesvol internationaal programma waarin 23 landen samenwerken om een globale dataset van stromingen, temperatuur en saliniteit samen te stellen. In het ARGO programma worden daartoe voornamelijk drie andere types floats gebruikt: APEX (hiervoor ALACE), PALACE en SOLO floats (hiernaast ook nog hybride floats zoals MARVOR, een PALACE float met RAFOS receiver). De ALACE floats drijven op een in te stellen diepte en meten continue de temperatuur van het zeewater. De PALACE en SOLO floats meten verticale profielen van temperatuur, saliniteit (eigenlijk conductiviteit) en druk (diepte) op de momenten dat ze van de ingestelde diepte naar het oppervlak bewegen. Binnen het ARGO programma zijn 3000 van deze floats uitgezet over de gehele oceaan (figuur 10). Per jaar zullen zo ongeveer 100.000 temperatuur- en saliniteitsprofielen gemeten worden en evenzoveel snelheidsmetingen.



Figuur 10 Posities van ARGO floats die tussen 28 juli 2008 en 28 augustus 2008 data opgenomen hebben (<http://www.argo.ucsd.edu/>).

De ARGO floats doorlopen iedere 10 dagen een cyclus waarin de van 2000 m diepte naar het oppervlak komen om data door te sturen. De individuele floats gaan 4 tot 5 jaar mee, en zijn uitgezet vanaf 2000 tot 2008. Alle ARGO data zijn in near-real time beschikbaar na een automatische kwaliteitscontrole en na ongeveer zes maanden ook in een wetenschappelijk gecontroleerd kwaliteitsformaat. Indien informatie op (veel) kleinere schaal nodig is, kan een groot aantal floats in een klein gebied uitgezet worden om een hogere ruimtelijke resolutie te verkrijgen (dat wil zeggen een dichter meetnetwerk).

## 2.6

### AUV's

Autonomous Underwater Vehicles (AUVs) worden in de operationele oceanografie steeds meer gebruikt. Deze onderwaterrobots kunnen zonder fysieke connectie met het moederschip een missie uitvoeren. Ze zijn typisch 1.5-6 m lang (zie figuur 11) en worden sinds eind jaren negentig in de offshore olie- en gasindustrie gebruikt, en sinds kort ook in diverse NAVO missies [3]. Groot voordeel van AUVs voor militair gebruik is het feit dat ze covert kunnen opereren. Ze kunnen zowel geheel zelfstandig (zonder contact met het moeder schip) opereren. Het is ook mogelijk dat de AUVs voortdurend of af en toe in contact staan met het moederschip. Een AUV is geen meetinstrument op zich, maar een platform dat met diverse sensoren uitgerust kan worden, bijvoorbeeld CTD's, ADCP's, video camera's en allerlei soorten sonars. Een nadeel van AUVs is dat de verschillende sensoren vaak verschillende condities nodig hebben om optimaal te

functioneren, waardoor het gebruik van een AUV een trade-off inhoudt. Daarnaast is de operatieduur van AUVs beperkt, en hebben ze een optimale snelheid, die echter niet altijd overeenkomt met de voor een bepaalde sensor gewenste snelheid. Ook wordt de beweging van AUVs beïnvloed door de omgevingsdynamica. Dit kan een nadelige invloed hebben op bijvoorbeeld synthetische apertuursonar [3]. In gebieden met sterke stroming dient rekening gehouden te worden met deze stroming bij de planning van AUV missies. De data van AUVs kan vaak real-time ontvangen worden via akoestische onderwaternetwerken.



Figuur 11 Een HUGIN AUV wordt te water gelaten. Deze figuur komt uit [3].

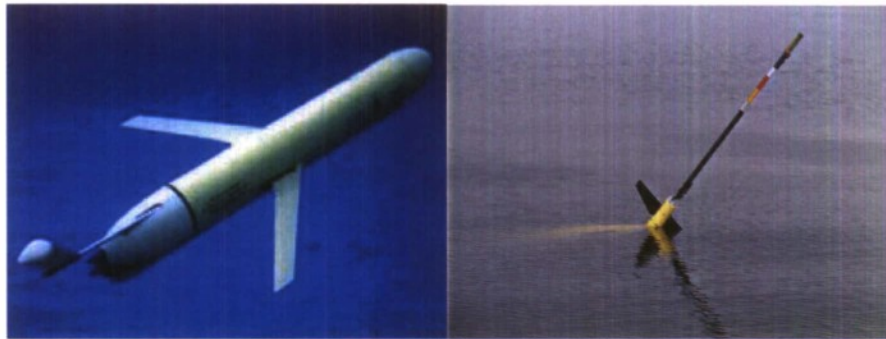
## 2.7 Onderwater 'gliders'

Een onderwater 'glider' is een speciale AUV die uitgerust is met vleugels en die gebruik maakt van kleine veranderingen in drijfvermogen (figuur 12). Om zich voort te bewegen, verandert een glider zijn volume, en hiermee zijn drijfvermogen. Door de vleugels wordt een deel van deze verticale beweging omgezet in horizontale beweging. Een glider is daarmee een soort 'onderwater zweefvliegtuig'. De glider beweegt zich in een karakteristiek zaagtand patroon voort, met een typische horizontale snelheid van 25 cm/s. Dit is langzamer dan die van een AUV, maar doordat gliders hun energie alleen gebruiken voor het veranderen van het drijfvermogen, kunnen ze zeer zuinig omgaan met hun energievoorraad. Het bereik van gliders is daarmee veel groter dan dat van conventionele AUVs (tot duizenden kilometers, met missies die maanden of zelfs langer kunnen duren). De meeste gliders, zoals de Slocum Electric Glider, de Spray en de Seaglider, maken gebruik van batterijen voor het veranderen van hun drijfvermogen [11] [12] [13]. In 2007 heeft de Slocum Thermal Glider, een glider die gebruik maakt van de thermische energie die opgeslagen is in de gelaagdheid van de oceaan, zijn eerste tocht gemaakt [13]. Het in 1989 door de bekende oceanograaf Henry Stommel geschreven science-fiction verhaal over een uitgebreid arsenaal aan gliders die de oceanen in 2021 zouden verkennen [14] is hard op weg werkelijkheid te worden.

In vergelijking met floats is het grote voordeel van gliders dat hun horizontale positie, binnen zekere grenzen, te sturen is. Daar waar floats voor hun horizontale positie geheel afhankelijk zijn van de achtergrondstroming, kunnen gliders gezien worden als floats



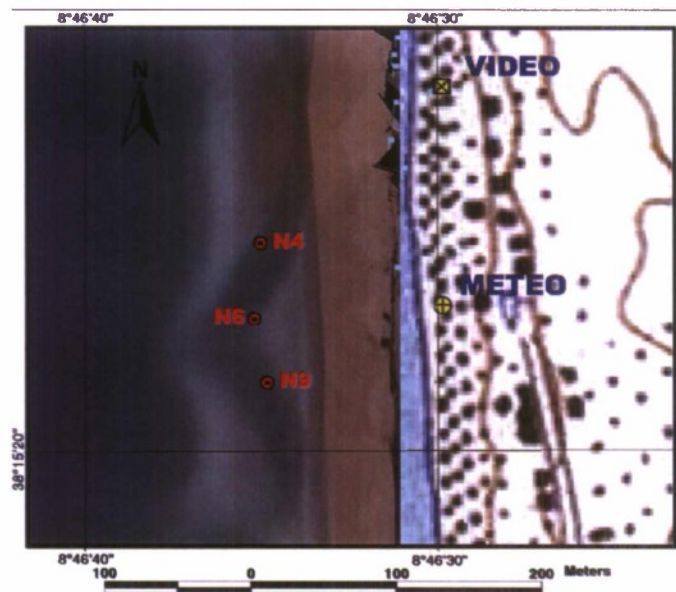
waarvan de horizontale positie controleerbaar is. Door hun relatief lage horizontale snelheid zullen temporele variaties echter snel aanzien worden voor ruimtelijke variaties. Typische ruimtelijke structuren op een schaal van tientallen kilometers kunnen veranderen op een tijdschaal van dagen tot weken. Een glider die tussen het oppervlak en bijvoorbeeld 500 m diepte heen en weer beweegt met een horizontale snelheid van 0,25 m/s, zal dus iets minder dan 10 km afleggen in 10 uur.



Figuur 12 Links: Slocum thermal glider, rechts: Seaglider van de Universiteit van Washington aan het oppervlak.

## 2.8 Camera en video

Met behulp van video monitoring en beeldbewerkingstechnieken kunnen diverse grootheden bepaald worden, zoals de locatie van de kustlijn, de breedte van de brandingszone, het aantal golfbrekers, en de locatie van zandbanken en circulatiecellen nabij de kust. Een voorbeeld van hoe video monitoring is ingezet tijdens de MREA04 trial wordt beschreven door Conley et al. [4]. Aan de hand van bewerkte videobeelden kan zo bijvoorbeeld de locatie van brekerzones vastgesteld worden (figuur 13).



Figuur 13 Beeld met geo-referenties van het gebied dat met behulp van video gemonitord is. Het beeld is gemaakt door 4 tijdsgemiddelde videobeelden, genomen op 7 april 2004, samen te voegen. Deze figuur komt uit [4]. De lichtere gedeeltes in de linkerhelft van de figuur geven de gebieden aan waar golfbreking optreedt.



## 3 Drie-dimensionale oceaanmodellen

### 3.1 Oceaanpredictiesystemen

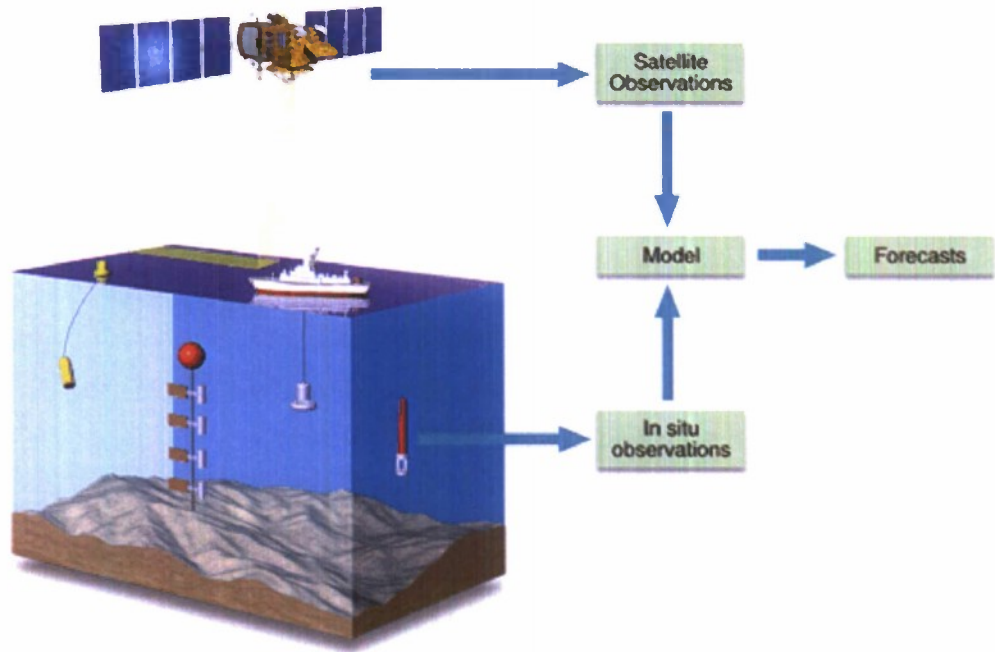
Voor veel gebruikers is het van belang om een goed beeld te hebben van de huidige en de te verwachten toestand van de oceaan, niet alleen aan het oppervlak, maar in de gehele waterkolom. Een oceaanpredictiesysteem bestaat uit een set van dynamische en statistische modellen en tools en wordt gebruikt om op routinematige basis analyses en verwachtingen te maken van de oceaan. De analyses worden ook vaak 'nowcasts' genoemd en zijn modelverwachtingen voor de huidige situatie. Het is een 'weersverwachtingsmodel' voor de oceaan, dat in plaats van een verwachting van de luchttemperatuur, bewolgingsgraad en neerslag een verwachting maakt van oceaantemperatuur, saliniteit en grootte en richting van de stroming. Veel oceaanpredictiesystemen kunnen ook gekoppeld worden aan andere modellen zoals biochemische of ecosysteemmodellen, voor aanvullende informatie over bijvoorbeeld waterkwaliteit. Een voorbeeld van een operationeel oceaanpredictiesysteem is MSEAS, gebaseerd op het HOPS model. Dit wordt uitgebreid beschreven in een ander TNO-rapport [8].

#### 3.1.1 *Oceaanmodel*

De kern van een oceaanpredictiesysteem bestaat uit een drie-dimensionaal numeriek oceaanmodel. Een dergelijk oceaanmodel berekent, uitgaande van een gegeven situatie, hoe de temperatuur, saliniteit, stroomsnelheid en stromingsrichting zich in de tijd zullen ontwikkelen. Naast een begintoestand heeft het model informatie nodig over de krachten die op de oceaan werken en die het water in beweging houden: de windsnelheid en -richting, de instraling van de zon, neerslag en verdamping.

Een oceaanmodel is gebaseerd op wiskundige vergelijkingen die de dynamica en thermodynamica van de oceaan beschrijven. In theorie geven deze vergelijkingen dan ook een nauwkeurige beschrijving op zowel kleine schaal (millimeters en centimeters) als zeer grote schaal (duizenden kilometers). In de praktijk kunnen echter ook de meest krachtige computers de volledige vergelijkingen niet oplossen. Processen op kleine schaal zoals turbulentie worden daarom niet expliciet gemodelleerd, maar door middel van parametrisaties wordt het effect van deze processen op grotere schalen wel meegenomen. De precieze parametrisaties en de manier waarop de vergelijkingen numeriek opgelost worden verschillen van model tot model. Daarnaast bevat het oceaanmodel deelmodellen voor specifieke processen, zoals een model voor de menglaag aan het oppervlak.

Voordat een oceaanmodel opgezet kan worden, moeten keuzes gemaakt worden voor de resolutie en het domein dat gemodelleerd wordt. Dit hangt af van de toepassing waarvoor de gebruiker het model nodig heeft. Sommige oceaanpredictiesystemen gebruiken een mondiaal oceaanmodel (ook wel globaal model genoemd), andere zijn regionaal. Een mondiaal operationeel oceaanmodel heeft typisch een resolutie van  $1/3^\circ$  tot  $1^\circ$ , een regionaal model zal een veel hogere resolutie hebben, afhankelijk van de grootte van het domein. Hoe hoger de resolutie, hoe langer het model nodig heeft voor een verwachting, maar hoe meer fysische processen direct gemodelleerd kunnen worden in plaats van geparametriseerd.



Figuur 14 Schematische weergave van informatiestromen in een oceaangepredictiemodel.

### 3.1.2 *Input*

De atmosferische grootheden als windsnelheid en -richting, de instraling van de zon, neerslag en verdamping die nodig zijn voor de aandrijving van het oceaamodel komen over het algemeen uit een weersverwachtingsmodel. Afhankelijk van het domein kan het nodig zijn om het oceaamodel te koppelen aan een zeeijsmodel. Bij een regionaal model zijn daarnaast ook gedetailleerde gegevens nodig van verticale profielen van temperatuur, saliniteit, stroomsterkte en stromingsrichting langs alle randen van het modeldomein, voor ieder tijdstip waarvoor het model gedraaid wordt. In principe kunnen hiervoor klimatologische waarden gebruikt worden, maar omdat de werkelijke situatie flink kan afwijken van de klimatologie zal dit grote fouten introduceren die vaak niet beperkt blijven tot de randen van het modeldomein. Daarom wordt een regionaal model vaak ingebed in een modeldomein met een grovere resolutie, zodat door interpolatie van de gegevens uit het grove-resolutie model de juiste randvoorwaarden bepaald kunnen worden.

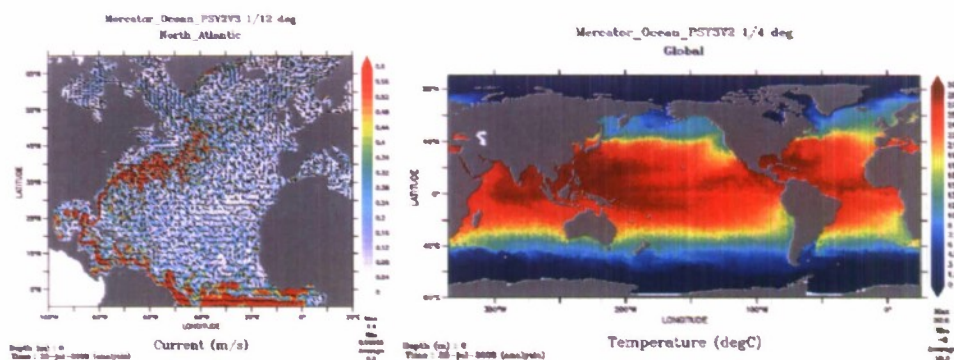
Voor de begintoestand van een simulatie van een oceaamodel kan ook een klimatologie gebruikt worden, maar daarnaast is het ook mogelijk om data van in situ metingen of remote sensing te gebruiken, of een eerdere modelverwachting, of een verwachting van een ander model. Over het algemeen zal men niet direct een verwachting willen maken uitgaande van een begintoestand gebaseerd op klimatologie of op een beperkte set in situ metingen. Daarom wordt eerst een initialisatierun gedaan, die eindigt met de nowcast (het huidige moment). Omdat de begintoestand en de atmosferische forcering nooit exact bekend zijn en omdat parametrisaties en dergelijke onnauwkeurigheden introduceren, zal de output van een oceaamodel na verloop van tijd steeds meer gaan afwijken van de werkelijke situatie. Daarom worden tijdens de initialisatie run periodiek nieuwe meetgegevens opgenomen in het model (data-assimilatie). Dit kunnen bijvoorbeeld temperatuurprofielen zijn die ter plaatse gemeten zijn met een XBT, CTD of MVP, maar ook satellietdata of andere meetgegevens kunnen geassimileerd worden (figuur 14). Als de nowcast eenmaal bekend is, kunnen



de verwachtingen gemaakt worden. Ook tijdens de forecasts kunnen eventueel data die op dat moment al beschikbaar zijn, geassimileerd worden. Al deze datastromen worden door het oceaanpredictiesysteem in goede banen geleid. Dit alles wordt in meer detail besproken voor een specifiek voorbeeld in een ander TNO-rapport [8].

### 3.1.3 Output

Een oceaanpredictiesysteem dat operationeel in gebruik is kent een vaste cyclus waarin het hele proces van initialisatie tot verwachting wordt doorlopen. Net als bij een weersverwachting worden verwachtingen voortdurend opnieuw gemaakt, zodat steeds zoveel mogelijk *in situ* en remote sensing meetgegevens kunnen worden geassimileerd. Voor de globale versie van het Franse Mercator model duurt een operationele cyclus bijvoorbeeld twee dagen, en wordt deze cyclus één keer per week doorlopen. Gedurende een cyclus worden in dit geval verwachtingen tot twee weken vooruit gemaakt. Standaard output van een oceaanpredictiemodel zijn datafiles van temperatuur, saliniteit en richting en sterkte van de stroming in drie dimensies. Deze gegevens worden meestal weergegeven in figuren. Een voorbeeld is te zien in figuur 15.



Figuur 15 Voorbeelden van output van het Mercator oceaanpredictiesysteem. Links: analyse van de oppervlaktecirculatie voor 23 juli 2008. De pijlen geven de richting van de stroming aan, de kleuren de grootte. Rechts: Analyse van de mondiale oppervlaktetemperatuur voor dezelfde dag. Beide figuren zijn komen van de webpagina van Mercator (<http://www.mercator-ocean.fr>).

### 3.1.4 Voorbeelden

Diverse real-time operationele oceaanpredictiesystemen zijn op dit moment in gebruik. Voorbeelden zijn het Forecasting Ocean Assimilation Model (FOAM) dat operationeel in gebruik is bij de UK MetOffice, het Franse Mercator model en zijn voorloper het Système Opérationnel d'Analyse et de Prévision (SOAP), in gebruik bij het Franse SHOM en het door de Naval Research Laboratory (VS) ontwikkelde Ocean Nowcast/Forecast System (ONFS). Dit zijn voorbeelden van globale modellen, met een resolutie van enkele kilometers tot enkele tientallen kilometers. Naar behoefte worden hierbinnen voor kleine gebieden zogenaamde 'nests' gemaakt met een hogere resolutie, zodat ook kleinschaliger processen meegenomen kunnen worden.

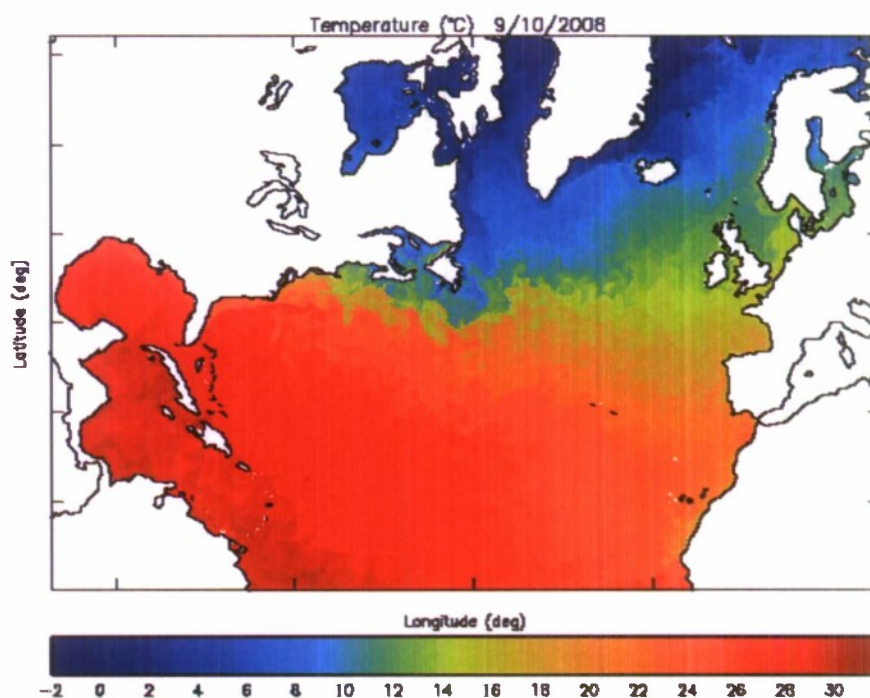
Binnen TNO is de afgelopen jaren ervaring opgedaan met het Harvard Ocean Prediction System (HOPS), dat aanvankelijk aan Harvard en nu bij MIT (Boston, VS) ontwikkeld en onderhouden wordt. In tegenstelling tot de bovengenoemde modellen, HOPS is een regionaal model dat naar behoefte opgezet kan worden voor een bepaald gebied. Het HOPS model wordt uitgebreid besproken in het TNO rapport 'Operational ocean modelling with the Harvard Ocean Prediction System (HOPS)' [8]. In deze sectie



worden de bovengenoemde voorbeelden van mondiale modellen kort besproken. Voorbeelden van internationale campagnes waar operationele modellen en observaties gebruikt worden komen in bijlage A aan bod.

#### 3.1.4.1 FOAM

Het Forecasting Ocean Assimilation Model (FOAM) is het oceaangepredictiesysteem in gebruik bij de UK MetOffice [5]. Het bestaat in een globale versie met 1 graad resolutie, en 20 verticale niveaus, en in diverse regionale configuraties met resoluties tot 1/20 graad. Ook zijn er versies op de schaal van bijvoorbeeld de Noord-Atlantische oceaan (1/9 graad resolutie) beschikbaar (figuur 16).



Figuur 16 Voorbeeld van een verwachting van oppervlaktetemperatuur gemaakt met de 1/9° Noord-Atlantische configuratie van FOAM.

Het systeem is geïntroduceerd in 1997 en wordt voortdurend verder ontwikkeld. Het dynamische oceaamodel is gebaseerd op de wijdverbreide Bryan-Cox code. Daarnaast bevat FOAM zee-ijs modellen. Oppervlaktefluxen van het weersverwachtingsmodel van de MetOffice worden gebruikt om het model aan te drijven. Temperatuur en saliniteitsdata van onder andere ARGO floats worden geassimileerd, evenals oppervlaktetemperatuur data van scheps, boei en satellietwaarnemingen. Regionale configuraties assimileren ook zeehoogte data van satellietaltimetrie. Ook zeeijs concentraties van het Canadian meteorological Centre worden geassimileerd in het systeem. FOAM operationele producten zijn onder andere velden van temperatuur, saliniteit en oceaanstroming.

#### 3.1.4.2 SOAP en Mercator

Het Système Opérationnel d'Analyse et de Prévision (SOAP) is een oceaangepredictiesysteem dat operationeel in gebruik is bij het Franse SHOM (Service Hydrographique et Océanographique de la Marine) ten behoeve van de Franse Marine [6]. Iedere week worden operationele producten geleverd aan de Marine op basis van

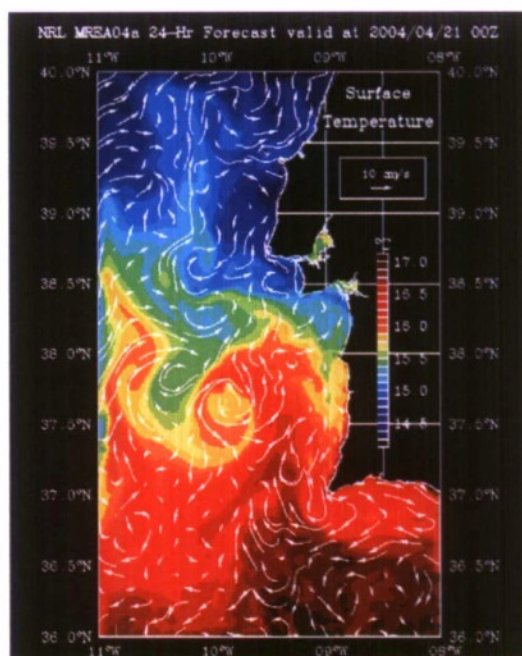
nieuwe verwachtingen. Dit gebeurt in een vaste procedure van ongeveer twee dagen: op dinsdagavond komen de satellietaltimetriegegevens beschikbaar. Deze worden geassimileerd in het model, vervolgens worden verwachting gedaan en op grond hiervan operationele producten gemaakt, die donderdag aan de Marine geleverd worden.

De opvolger van SOAP is het Mercator model. Zowel mondiale als regionale versies van Mercator zijn operationeel. Civiele gebruikers van de Mercator modelproducten (onder andere stroomsnelheid en -richting, temperatuur, saliniteit) zijn bijvoorbeeld de visserij en de offshore industrie. Twee voorbeelden van Mercator producten zijn te zien in figuur 15.

### 3.1.4.3 ONFS

Het Ocean Nowcast/Forecast System (ONFS) is een door het Naval Research Laboratory (VS) ontwikkeld predictiesysteem bedoeld voor het maken van dagelijkse kortetermijn verwachtingen van mesoschaal oceaanstromingen, temperatuur, saliniteit en zeeniveau variaties als gevolg van het getij. Typische tijdschalen van de verwachtingen zijn enkele uren tot enkele dagen.

ONFS wordt regionaal opgezet en kan toegepast worden op gebieden van verschillende afmeting en met verschillende resolutie. Het systeem is succesvol toegepast op geheel verschillende gebieden, zoals de Noordelijke Pacifische Oceaan, de Chinese Zee en de Intra-Amerikaanse Zeeën. Tijdens de MREA04 trial van NURC in 2004 is het systeem gebruikt voor een gebied in de wateren voor de Portugese kust [7].



Figuur 17 Voorbeeld van een verwachting van oppervlaktetemperatuur en stroomsnelheid voor 24 uur vooruit zoals gemaakt met het NRL ONFS systeem tijdens de MREA04 trial voor de Portugese kust.

Het systeem bestaat uit een dynamisch oceaanmodel (het Navy Coastal Ocean Model NCOM, daarvoor het Princeton Ocean Model – POM) en een statistisch data analyse model (Modular Ocean Data Assimilation System MODAS van NLR). Dit data analyse model gebruikt satelliet data, in-situ waarnemingen en historische statistieken om drie-

dimensionale velden van oceaantemperatuur en saliniteit te genereren. Met data-assimilatietechnieken worden deze analyses vervolgens in NCOM opgenomen, waarmee een nowcast wordt berekend. Op basis hiervan wordt met het dynamische model zonder verdere data-assimilatie de verwachting berekend, waarbij meteorologische verwachtingen worden gebruikt voor de forcering.

Een voorbeeld van een met dit systeem gemaakte verwachting van temperatuur en stroming aan het oppervlak voor 24 uur vooruit is te zien in figuur 17. In dit geval werd gebruik gemaakt van een hoofdrooster met een roosterafstand van 4 km, met een fijnmazig 1 km rooster in het centrale gedeelte van het domein. Aan de randen werden gegevens uit de globale versie van NCOM gebruikt. Geassimileerde data zijn bijvoorbeeld zeehoogte van satellietaltimetrie, (zee)oppervlaktetemperatuur van satelliet-radiometers en temperatuur- en saliniteitsprofielen van CTD metingen, gedaan vanaf de Alliance (NURC) en de Borda (SHOM).

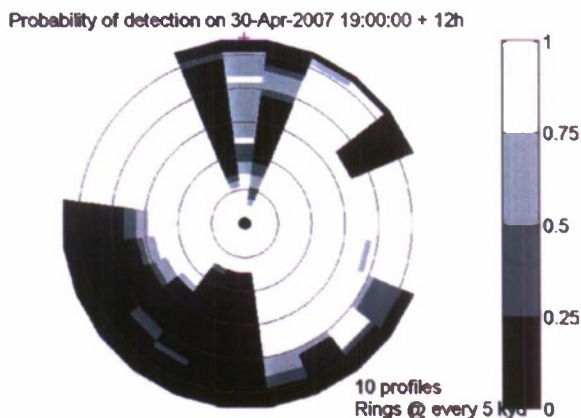
### 3.2 Tactische producten

De modelproducten die in de voorgaande sectie genoemd werden, kunnen gebruikt worden voor het maken van tactische producten. Hieronder worden twee voorbeelden besproken.

#### 3.2.1 *rangeafhankelijke akoestische modellering*

Temperatuur- en saliniteitsvelden beïnvloeden de geluidssnelheid, een cruciale grootte voor geluidspropagatie. De beschikbaarheid van juiste kennis hiervan is noodzakelijk voor het bepalen van sonar performance. Voor dit laatste gebruikt de Koninklijke Marine het door TNO ontwikkelde model ALMOST. In de huidige versie van dit model wordt geen gebruik gemaakt rangeafhankelijke geluidssnelheidsprofielen of rangeafhankelijke bathymetrie. Modelproducten als temperatuur- en saliniteitsverwachtingen kunnen gebruikt worden om verwachtingen te maken van drie-dimensionale geluidssnelheidsvelden. Door deze als invoer te gebruiken van een akoestisch model, kunnen bijvoorbeeld verwachtingen gemaakt worden voor de detectiekans van een sonarsysteem. Tijdens de BP07 sea trial is getest dat het mogelijk is om dit operationeel (real-time) te doen [10]. Een voorbeeld van een experimenteel tactisch product voor detectiekansverwachting is te zien in figuur 18. In een ander TNO rapport wordt de rangeafhankelijke akoestische modellering in meer detail beschreven [9].





Figuur 18 Voorbeeld van een verwachting gemaakt met het TNO model ALMOST voor de detectiekans van een target door een 1500 Hz sonar in een cirkelvormig gebied met een straal van 25 km rond het schip. Sonar en target bevinden zich op 50 m diepte. De zwarte (witte) gebieden geven de gebieden aan met lage (hoge) detectiekans. In de 24 verschillende richtingen rondom de scheepspositie zijn steeds 10 geluidssnelheid profielen gebruikt, evenals een variabele bathymetrie.

### 3.2.2 AUV mission planning

Snelheid en richting van de (driedimensionale) oceaanstroming kunnen van belang zijn bij het inzetten van AUVs en gliders. Kennis van oceaanstromingen en hun variabiliteit kan mogelijk helpen om het bereik van deze instrumenten te vergroten. Hiervoor zijn gedetailleerde verwachtingen nodig van de stromingen. Het is niet bij de auteurs bekend of hier al concrete voorbeelden van bestaan.

## 3.3 Onderzoek en internationale programma's

Veel ontwikkelingen in de oceanpredictiesystemen worden gestimuleerd door onderzoek in internationale programma's en projecten. Het *MERSEA (Marine Environment and Security for the European Area)* project is bijvoorbeeld een EU project dat tot doel heeft het opzetten van een systeem voor operationele monitoring en verwachting van de oceaan en de marine omgeving op mondiale en regionale schaal. Naast de fysica van de oceaan omvat dit project ook biologie en scheikunde van de marine omgeving, evenals marine ecosystemen. Het MERSEA project zal als operationeel netwerk data verzamelen, zowel van satellieten als van in-situ observaties. Deze data worden geassimileerd in oceanpredictiesystemen zoals hierboven beschreven, zodat nowcasts en forecasts van de toestand van de oceaan kunnen worden geproduceerd. Deze informatie wordt vervolgens weer verspreid naar diverse gebruikers die hiermee specifieke toepassingen kunnen ontwikkelen.

Het MERSEA project draagt bij aan de oceaan- en marine component van het *Global Monitoring for Environment and Security system (GMES)*. Het GMES is een gezamenlijk initiatief van de EU en ESA (European Space Agency) gericht op het creëren van een Europese capaciteit voor het voorzien in een onafhankelijke en permanente toegang tot operationele informatie over omgeving en veiligheid.

Veel van de observaties die op operationele basis verkregen worden, worden verzameld in het kader van *het GOOS (Global Ocean Observing System)* programma. Dit onder andere door de VN gesponsorde programma heeft tot doel een mondiaal raamwerk op te zetten van waarnemingen, en modellering en analyse van oceaankvariabelen nodig voor de ondersteuning van operationele oceanografie. Het MERSEA project draagt mede bij aan de implementatie van GOOS. Op Europees niveau wordt aan GOOS uitvoering gegeven binnen EuroGOOS.

Een derde internationaal programma waar het MERSEA project aan bijdraagt is het *Global Ocean Data Assimilation Experiment (GODAE)*. Het internationale GODAE Programma heeft als doel het waarnemen, modelleren, monitoren en voorspellen van de toestand van de oceaan in drie dimensies op een real-time, routinematige basis, zoals dit ook voor weersverwachtingen gebeurt.

In 2008 loopt het MERSEA project ten einde. De opvolger van dit project is MyOCEAN, dat loopt van 2008 tot 2011. Daar waar in het MERSEA project het ontwerp en de ontwikkeling van een geïntegreerd Europees systeem voor het monitoren en voorspellen van de toestand van de oceaan centraal stond, zal MyOCEAN zich vooral richten op de operationele uitvoering hiervan.

## 4 Golfmodellen en modellen voor de brandingszone

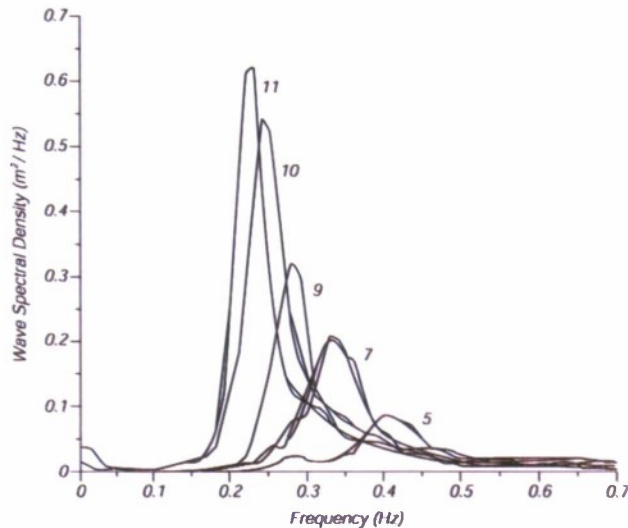
### 4.1 Inleiding

Accurate kennis van de huidige en toekomstige toestand van het oceaanoppervlak, de zeegang, is van belang voor vrijwel alle operaties op zee. De golven aan het oceaanoppervlak zijn een mengsel van zeegang en deining. Onder zeegang verstaat men de lokaal door de wind gegenereerde golven, terwijl deining de golven zijn die elders door de wind zijn opgewekt. De wind wekt golven op met verschillende frequenties en richtingen en een golflengte die klein of vergelijkbaar is met de waterdiepte. De amplitude van deze golven hangt af van de afstand waarover de wind op het water heeft kunnen inwerken (deze afstand wordt strijklengte of 'fetch' genoemd). De interactie van golven van verschillende frequenties met elkaar zorgt voor een overdracht van energie naar lagere frequenties, en geeft golven met langere periodes (de deining). Deze golven kunnen zich over lange afstand voortplanten. De golfcondities op een bepaalde locatie hangen af van de strijklengte, de duur van de wind, de blootstelling aan de inkomende deining en de lokale bathymetrie.

Men kan het golfveld op een bepaalde locatie en tijdstip karakteriseren door van alle aanwezige golven de hoogte en de periode te bepalen. De statistische eigenschappen (zoals het gemiddelde en de standaarddeviatie) van verdeling van golfhoogten en golfperiodes geven dan een beeld van de toestand van het oceaanoppervlak op die plaats en tijd. Een andere manier, gebaseerd op de Fourier transformatie, is om het totaal van aanwezige golven te zien als een optelling van een groot aantal sinusvormige golven met elk een verschillende energie (golfhoogte) en frequentie (inverse periode) en willekeurige beginfase. Het golfveld kan dan gekarakteriseerd worden door de verdeling van energie met de frequentie. Deze verdeling wordt een (energie)spectrum genoemd (figuur 19). Dit concept kan worden uitgebreid naar dat van een directioneel (twee-dimensionaal) golfspectrum, waarbij elke golf niet alleen gekarakteriseerd wordt door een frequentie, maar ook een richting.

Als het water ondiep genoeg is, zullen golven gaan breken. Dit gebeurt in een snelle zone langs de kust, de brandingszone (Engels: *surf zone*). De golven zorgen voor een nettotransport van water naar de kust toe, en dit genereert stromingen parallel aan de kust. Op plaatsen waar de brekende golven wat minder sterk zijn, komen zogenaamde mui-stromingen voor (*rip currents*) die het water van de kust af terug naar zee transporteren.





Figuur 19 Voorbeelden van (één-dimensionale) energiespectra, bepaald op grond van theorie en metingen, voor diverse strijklengtes. De getallen naast de verschillende lijnen geven de strijklengte. Op de verticale as de golfenergie per 1Hz frequentieband.

## 4.2 Golfmodellen

Golfmodellen verdelen het golfveld in een aantal frequentiebanden, en berekenen de evolutie van de golfenergie in de tijd voor een rooster van punten. De golfenergie neemt toe ten gevolge van wind input, en neemt af als gevolg van energiedissipatie door brekende golven en niet-lineaire energie overdracht tussen verschillende frequentiecomponenten. De output van deze modellen zijn spectrale parameters, die echter meestal omgezet worden naar parameters als golfhoogte en -periode.

We kunnen onderscheid maken tussen golfmodellen voor diep en voor ondiep water. In water dat diep is ten opzichte van de golflengte worden de golven niet of nauwelijks beïnvloed door de waterdiepte en de stroming. Golfmodellen voor diep water, zoals WAM en WaveWatch, gaan dan ook uit van stationaire achtergrondstroming en waterdieptes. In dynamische gebieden zoals de ondiepe kustzone hebben veranderende stromingen en variabele waterdieptes als gevolg van het getij echter een belangrijk effect op het golfveld. Hiervoor is dan ook een ander type model nodig, dat bijvoorbeeld ook het breken van golven nabij de kust meeneemt. Het meest gebruikte model dat speciaal voor ondiepwatergolven in de nabije kustzone is ontwikkeld is SWAN (Simulating Waves Nearshore). Over het algemeen zijn diepwater golfmodellen geschikt voor grotere domeinen (regionaal of zelfs globaal). Door de numerieke formulering van deze modellen moeten in ondieper water zeer kleine roosterafstanden gekozen worden, wat deze modellen zeer inefficiënt maakt. In diep water worden roosterafstanden gebruikt van tientallen km, en in elk geval groter dan 1 tot 10 km. Ondiepwatmodellen worden juist minder efficiënt voor grote domeinen [15].

Modellen voor de brandingszone berekenen de stromingen die het gevolg zijn van brekende golven. Een voorbeeld van een dergelijk model is Delft3D. Dit model maakt gebruik van SWAN voor het modelleren van golven en golfbreking, maar modelleert daarnaast ook de stromingen, en de wisselwerking tussen stroming en golven. Er zijn ook eenvoudigere modellen voor de brandingszone, zoals het Navy Standard Surf Model (NSSM, ook wel SURF model genoemd), die alleen parameters voor de

brandingszone langs een 1D sectie loodrecht op de kust beschrijven. In dit geval kunnen verschijnselen als mui-stromingen, die dwars op de kust optreden, niet beschreven worden.

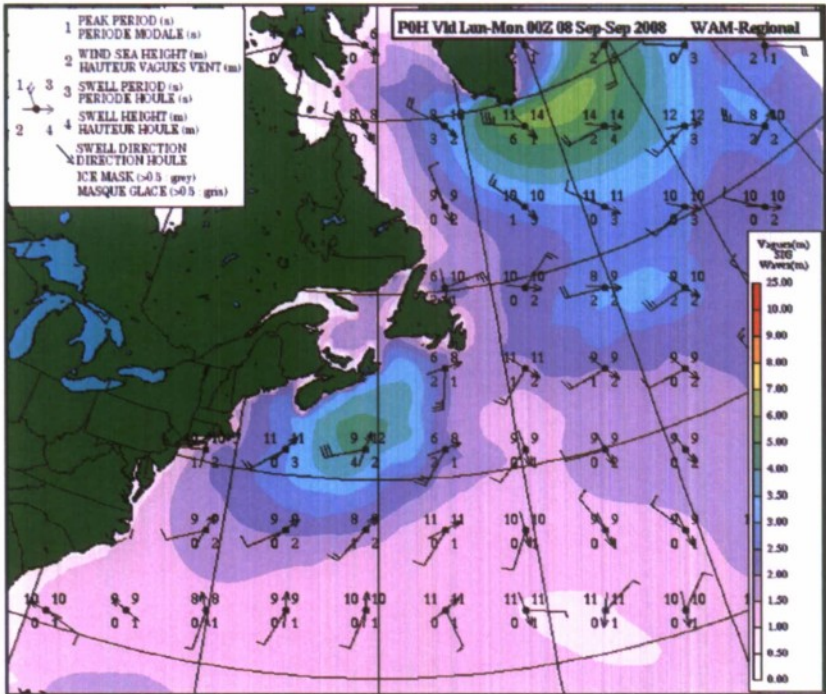
#### 4.2.1 *Input*

De belangrijkste inputvelden voor een golfmodel zijn grootte en richting van de wind. Deze komen uit een weersverwachtingsmodel, bijvoorbeeld ieder uur. Daarnaast zijn aan de randen gegevens nodig over de binnenkomende golven. Hiervoor kunnen metingen worden gebruikt of resultaten van een golfmodel, dat een groter gebied beslaat. Uiterst belangrijk is ook de bathymetrie die gebruikt wordt. De nauwkeurigheid van de bathymetrie bepaald voor een belangrijk deel de nauwkeurigheid van de golfverwachting. Satellietwaarnemingen van bijvoorbeeld golfspectra kunnen periodiek opgenomen worden in het model (data-assimilatie). Tenslotte zijn begincondities nodig op alle roosterpunten van het model. Dit kunnen bijvoorbeeld energiespectra zijn die met een ander golfmodel berekend zijn.

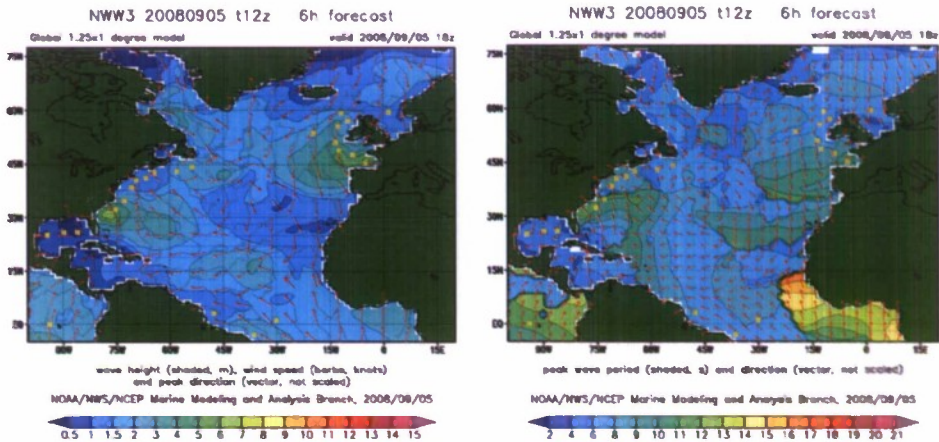
Een eenvoudig model voor de brandingszone zoals NSSM heeft als input alleen een bodemdiepteprofiel loodrecht op de kust, en gegevens over de heersende golfcondities. Een complex model zoals Delft3D heeft onder andere grootte en richting van de wind, golfspectra en bathymetrie nodig. In beide gevallen zijn ook begincondities nodig.

#### 4.2.2 *Output*

De meeste golfmodellen geven energiespectra als output, en daarnaast afgeleide grootheden in het tijdsdomein zoals de significante golfhoogte, piekgolfperiode, gemiddelde golfrichting en piekgolfrichting. Ook grootheden als waterstand kunnen tot de output behoren. De significante golfhoogte is de gemiddelde hoogte (van golftop tot -dal) van de één-derde hoogste golven. Deze statistische maat voor de golfhoogte komt zeer goed overeen met wat een geoefende waarnemer zou beschouwen als de gemiddelde golfhoogte. De piekgolfperiode en -golfrichting zijn de periode en golfrichting behorende bij de hoogste piek in het (één-dimensionale) energiespectrum. Vaak worden deze parameters apart berekend voor de lokaal door de wind gegenereerde golven en de deining. De output van golfverwachtingsmodellen wordt meestal gepresenteerd in de vorm van grafieken en figuren (figuur 20 en figuur 21) of in tabelvorm (figuur 22). De resolutie van een mondiaal golfmodel is typisch ongeveer 60 km, van een regionaal golfmodel ongeveer 10-30 km.



Figuur 20 Voorbeeld van een operationele golfverwachtingskaart van de Canadese weersverwachtingsdienst. De kleuren geven de significante golfhoogte aan, de getallen en pijlen geven aanvullende informatie over golfperiode, -hoogte en -richting.



Figuur 21 Voorbeeld van output van het WaveWatch III golfverwachtingsmodel voor de Noord-Atlantische Oceaan. Links: significante golfhoogte (kleur), windsnelheid (windvannen) en piekgolfrichting (pijlen). Rechts: piekgolfperiode (kleur) en piekgolfrichting (pijlen).

Modellen voor de brandingszone geven typisch grootheden als de hoogte van een brekende golf, het percentage brekende golven en de grootte en richting van de golfgedreven stroming als output.



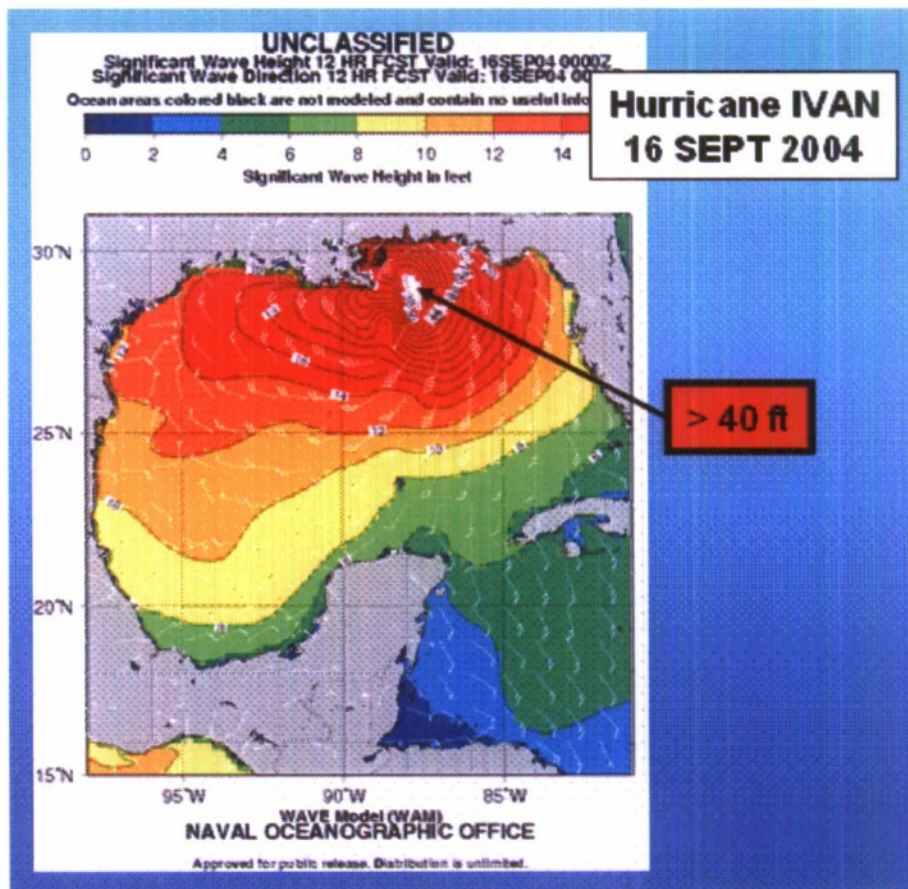
Kustgebied Zeeland	Astro	Afwijking	Absolute stand
<i>Roompot buiten</i>			
Tijdens HW om 09:30 vandaag	91	GAVB (-5)	86
Tijdens LW om 16:37 vandaag	-90	2 dm LA (-15)	-105
Tijdens HW om 22:25 vandaag	93	GAVB (-13)	80
<i>Vlissingen</i>			
Tijdens HW om 09:09 vandaag	115	GAVB (-4)	111
Tijdens LW om 16:27 vandaag	-106	GAVB (-12)	-118
Tijdens HW om 22:05 vandaag	111	GAVB (-14)	97
<b>SIGNIFICANTE GOLFHOOGTE BUITENGAATS DELTAKUST</b>			
tot 20:00 uur vanavond:	omstreeks 0,5 meter, toenemend 0,5-1,0 meter		
van 20:00 uur vanavond tot 08:00 uur morgenochtend:	0,5-1,0 meter, toenemend omstreeks 1,0 meter		

Figuur 22 Voorbeeld van een waterstand en golfhoogte verwachting van het KNMI voor 9 september 2008.

### 4.3 Voorbeelden

#### 4.3.1 Golfmodellen voor diep water: WAM en Wave Watch

Het Wave Analysis Model (WAM) is ontwikkeld door de Wave Model Development and Implementation (WAMDI) groep in 1988 [16] [17] en was een duidelijke verbetering ten opzichte van op dat moment bestaande modellen [18]. Het omvat formuleringen voor golfgroei ten gevolge van de wind, interactie van golven met elkaar en dissipatie. Versies van dit model worden operationeel gebruikt door zeer veel instituten over de gehele wereld, onder andere door het ECMWF (VK), het KNMI en door de meteorologische instituten van bijvoorbeeld Duitsland, Noorwegen, Denemarken en Australië. Het Amerikaanse Naval Oceanographic Office gebruikt WAM om op operationele basis golfverwachtingen voor een sub-regionaal gebied (typisch 200 tot 500 km doorsnede) te maken.

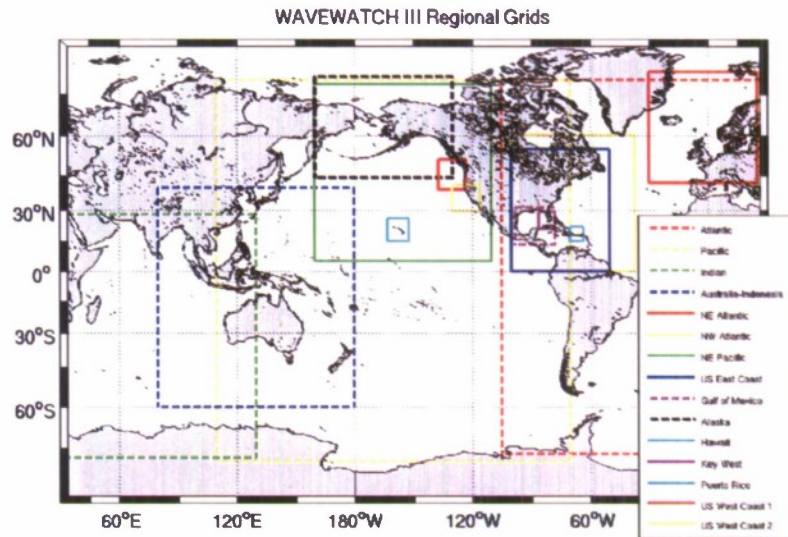


Figuur 23 Voorbeeld van een golfverwachting met WAM van het Naval Oceanographic Office. Deze figuur komt uit een presentatie gegeven door F.L. Bub tijdens de IOOS Community Modeling Workshop in Washington op 28 november 2006.

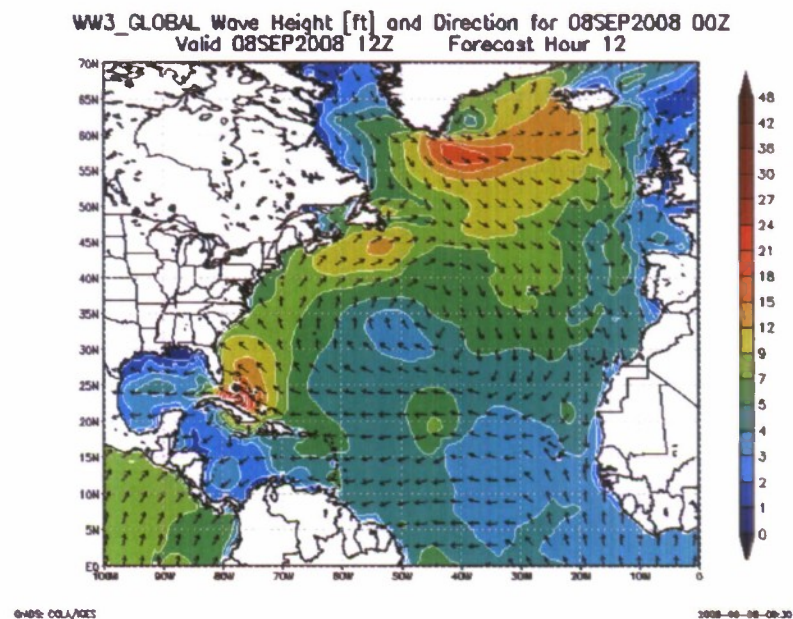
Het ECMWF levert verwachtingen gebaseerd op WAM zowel met een globale versie als voor diverse kleinere gebieden zoals de Noord-Atlantische Oceaan en de Noordzee. De resolutie van het globale model is  $0,36^\circ \times 0,36^\circ$  (gemiddeld 40 km), van de kleinere modellen  $0,25^\circ \times 0,25^\circ$  (gemiddeld 28 km). Altimeter data worden in het globale model geassimileerd. Naast een nowcast worden verwachtingen geleverd voor iedere 6 uur tot 120 (regionaal) of 240 (globaal) uur vooruit. Producten zijn onder andere significante golfhoogte, gemiddelde richting van de golven, gemiddelde golfperiode.

Het WaveWatch III (WW3) model is een wat recenter golfmodel. Het is oorspronkelijk ontwikkeld aan de TU Delft, en later bij NASA en NCEP (National Centers for Environmental Prediction) [19]. WaveWatch is een zelfde type model als het eerder ontwikkelde WAM, maar verschilt daarvan zowel op numeriek vlak als in de precieze formulering van vergelijkingen en de meegenomen fysische processen [19]. Het wordt operationeel gebruikt door onder andere SHOM (Frankrijk) en NOAA/NWS/NCEP. Van dit model zijn regionale roosters gemaakt voor diverse gebieden op aarde (zie figuur 24).





Figuur 24 Voorbeelden van regionale roosters waarvoor WaveWatch verwachtingen gemaakt worden door NOAA/NWS/NCEP.



Figuur 25 WaveWatchIII verwachting van significante golfhoogte en golfrichting uit een mondiaal model.

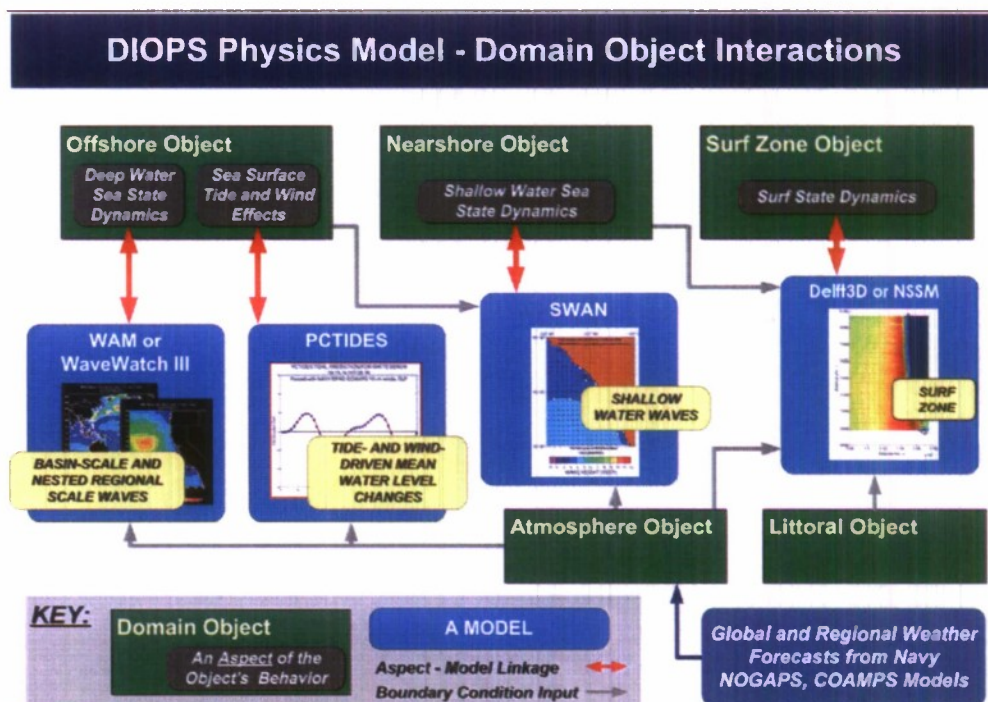
Een voorbeeld van een golfverwachting gemaakt met WaveWatch is te zien in figuur 25.

#### 4.3.2 Ondiep water: de brandingszone

SWAN is een uitbreiding van diepwatermodellen zoals WAM voor kustgebieden. Het omvat diepwaterprocessen voor golfgroei ten gevolge van wind, dissipatie en interacties tussen verschillende golven. Daarnaast worden ook specifieke ondiepwaterprocessen gemodelleerd, zoals dissipatie als gevolg van bodemwrijving en dieptegerelateerde golfbreking [15].

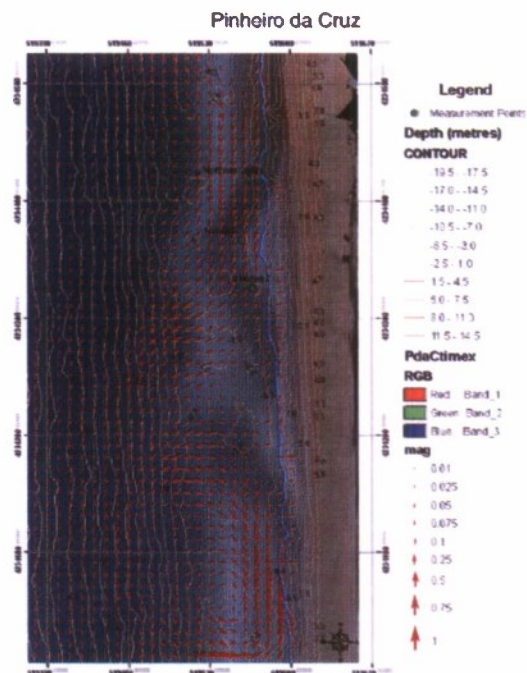


Een voorbeeld van golfverwachtingen in ondiep water (tot en met de brandingszone) met SWAN wordt gepresenteerd in [20]. Dit artikel beschrijft een demonstratie van een predictiesysteem voor nearshore golven, getijden en stromingen zoals dat gebruikt is door NRL en NURC tijdens de MREA04 trial voor de Portugese kust. Tijdens deze trial werd SWAN gecombineerd met een getijdenmodel en een model voor de brandingszone in het zogenaamde DIOPS raamwerk (dit raamwerk is operationeel in gebruik bij de U.S. Navy). Hiermee werden aan boord van de NRV Alliance real-time verwachtingen gemaakt van de golf- getij- en brandingscondities voor stranden in de buurt van Pinheiro da Cruz, Portugal (figuur 26).



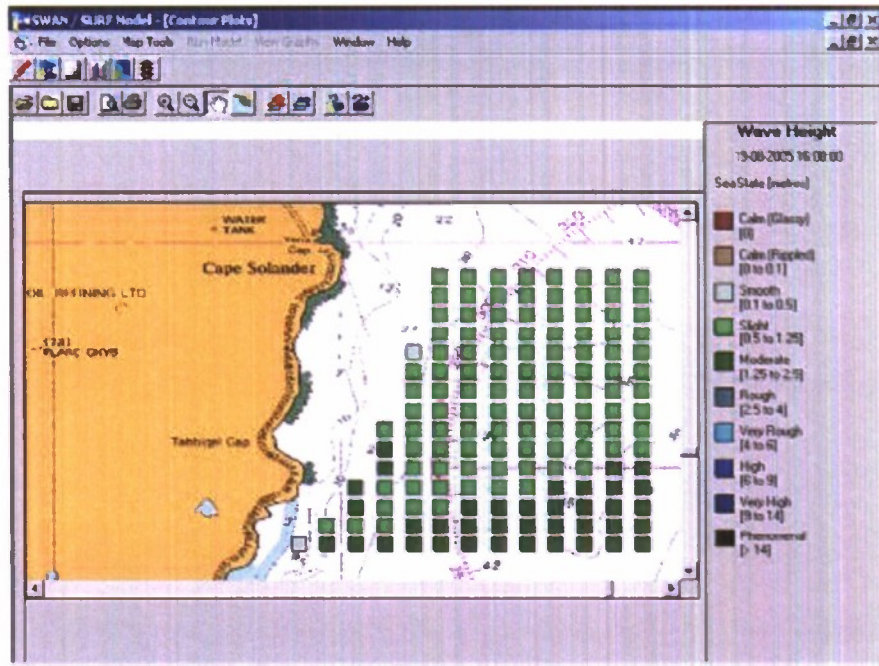
Figuur 26 Schematische weergave van het DIOPS model systeem met alle componenten vanaf diep water tot de brandingszone (figuur uit [20]).

Er werden drie geneste roosters van SWAN gebruikt. Het buitenste rooster besloeg een gebied van  $3^\circ \times 4^\circ$ , het binnenste een gebied van  $0,16^\circ \times 0,18^\circ$  (14 km x 20 km). De roosterafstand in het fijnste rooster was ongeveer 100m. Als randvoorwaarden voor het binnenste SWAN model werden golfcondities van het middelste SWAN model gebruikt, dat op zijn beurt weer het buitenste SWAN model gebruikte voor randcondities. Randcondities voor het buitenste SWAN model kwamen van het 27 km Europese WaveWatch III model (van FNMOC). Windcondities voor alle modellen kwamen van weersverwachtingen. Waterstanden van een getijdemodel werden ook als invoer voor SWAN gebruikt. Naast dagelijkse verwachtingen van golfcondities en waterstanden tot 48 uur vooruit, werd de output van het binnenste SWAN model uiteindelijk weer gebruikt als invoer voor een model voor de brandingszone. Hiervoor kon het Navy Standard Surf Model (NSSM) worden gebruikt [21], of het complexere Delft3D model. Dit leverde uiteindelijk zeer gedetailleerde verwachtingen op van de stroming in de brandingszone (figuur 27).



Figuur 27 Vergelijking van Delft3D model output (rode pijlen) met een op videobeelden gebaseerd beeld van de brandingszone, gemaakt tijdens de MREA04 trial in 2004. De lichtere gebieden geven de aanwezigheid van brekende golven weer, in de donkere gebieden daartussen zijn meer zeewaartse stromingen mogelijk.

De Australische Defence Science and Technology Organisation (DSTO) heeft het SWAN model en het Navy Standard Surf Model gekoppeld in één model, SWANSURF genaamd, waarmee verwachtingen van alle relevante condities in de brandingszone gemaakt kunnen worden [22]. Dit combinatiemodel geeft zowel output op modelniveau zoals significante golfhoogte, richting van de golven en door de golven opgezette reststroming (zie figuur 28 voor een voorbeeld van significante golfhoogte), als ook output die meer op het niveau van een tactisch product ligt. Dit laatste wordt beschreven in de volgende sectie.



Figuur 28 Voorbeeld van modeloutput van significante golfhoogte van het DSTO Swan/SURF model beschreven in [22].

#### 4.4 Tactische producten

Het NSSM model, en combinaties hiervan zoals SWANSURF geven naast modeloutput ook meer tactische producten als output. In de in 1987 geschreven 'Joint Surf Manual' wordt één van de eerste vertaalslagen gemaakt van brandingsparameters naar een 'modified surf index' (MSI). Deze MSI is een enkel getal dat een algemeen beeld geeft van de condities in de brandingszone. Aan elk vaartuig kan een maximale MSI waarde worden toegekend waarin het nog kan opereren. Een voorbeeld voor verschillende landingsvaartuigen is te zien in figuur 29 uit de Joint Surf Manual. Zoals in deze figuur te zien is, kan de LCVP (Landing Craft Vehicle Personnel) opereren tot een MSI van 5, terwijl de LCU (landing craft utility) tot MSI 12 ingezet kan worden. De foto's van de LCU en LCVP in figuur 30 laten enkele verschillen tussen beide vaartuigen zien, in het bijzonder het verschil in grootte.



COMNAVSRFPAC/  
COMNAVSRPLANTINST 3840  
2 JAN 1967

# 1135. MODIFIED SURF LIMITS FOR LANDING CRAFT

Modified Surf Limits	
Craft/Vehicle	Modified Surf Limit
LCM 6	8
LCM 8	8
LCU	12
LCVP	5
LVTP-5	8
LVTP-7	see below
LARC	6
CAUSEWAY (3x15)	6
LARC V	9
SELF PROPELLED	7
BARGE (Ponoon)	7
TRUCK 2 1/2 TON. 6x6	
Amphibian (W/Canopy)	

## Modified Surf Limits for LVTP-7

The following modified surf limits for LVTP-7 training operations are based on three load conditions:

1. Combat Load (CL) of 10,000 lbs.
2. Troop Load (TL) of 5,000 lbs.
3. Combat Equipped (CE) with no load.

LOAD	MOD SURF LIMIT	MINIMUM WAVE PERIOD
100 Percent Plunging Surf		
CL	6	9 sec
TL	6	9 sec
CE	4	13 sec
50 Percent Plunging, 50 Percent Spilling Surf		
CL	6	8 sec
TL	6	8 sec
CE	6	10 sec
100 Percent Spilling Surf		
CL	6	5 sec
TL	6	5 sec
CE	6	7 sec

### Safety Notes:

1. For student Basic MOS 1800 operations (First Time Drivers) recommend training be conducted with a modified surf limit of four and include six outbound and six inbound transits of the surf zone.

2. Planning for combat operations should be predicted on LVTP-7 demonstrated capability for negotiating ten foot plunging waves in CL and TL conditions and eight foot plunging waves in CE condition.

3. The above figures are also applicable to LVTC-7 and LVTR-7.

1136. MAXIMUM SURF CAPABILITIES FOR LCAC. The Modified Surf Index is not applicable to the LCAC. Limiting conditions for operating the LCAC in the surf zone is based on load size and significant breaker height only. See Chapters 7 and 12 for additional information on the LCAC.

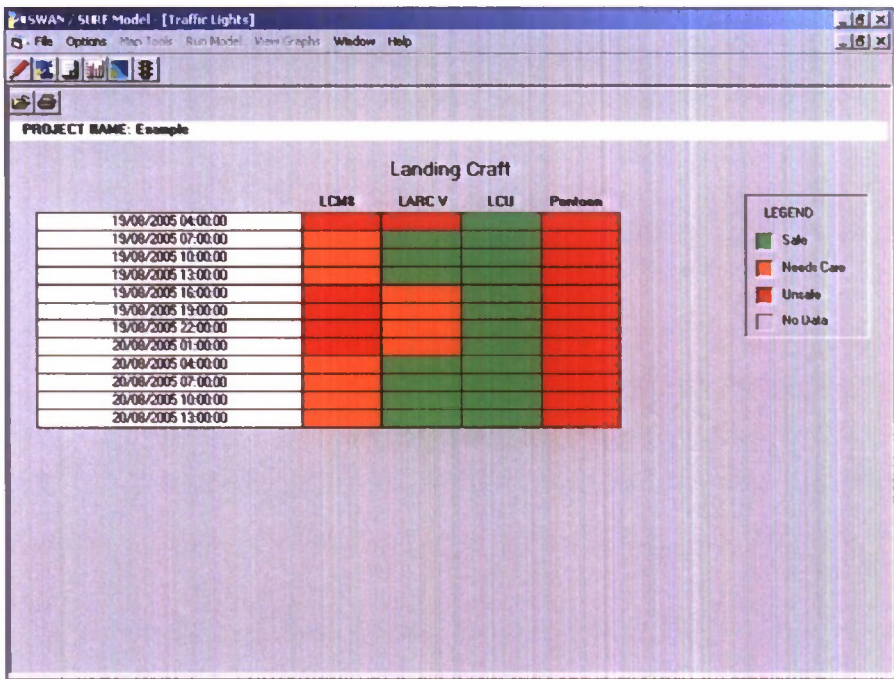
LOAD	SIG. BREAKER HEIGHT
75 tons overload	0-4 feet
60 tons normal payload	4-8 feet
15 tons reduced payload	8-12 feet

Figuur 29 Een pagina uit de Joint Surf Manual, waarin parameters voor de brandingszone gegeneraliseerd worden in een enkel getal. Huidige of verwachte condities kunnen op die manier eenvoudig vergeleken worden met limieten voor de inzetbaarheid van verschillende types landingsvaartuigen.



Figuur 30 Voorbeelden van een kleiner LCU (links) en een groter LCVP (rechts) vaartuig.

In de SWANSURF modelcombinatie van DSTO wordt uit de MSI waarde een zogenaamd stoplicht figuur gemaakt (figuur 31). Dit geeft aan op welke momenten de condities in de brandingszone veilig (groen), twijfelachtig (oranje) of onveilig (rood) zijn voor diverse landingsvaartuigen.



Figuur 31 Uit data zoals te zien in figuur 28 wordt een zogenaamd stoplicht figuur gemaakt. Dit geeft aan op welke momenten de condities in de brandingszone veilig (groen) of onveilig (rood) zijn voor diverse landingsvaartuigen.

Een ander voorbeeld van een tactisch product zijn de METOC Impact Matrix Summaries zoals die gemaakt zijn tijdens de MREA04 trial (figuur 32). Voor verschillende operaties, zoals AUV navigatie, wordt aangegeven of de condities in de brandingszone al dan niet gunstig zijn.

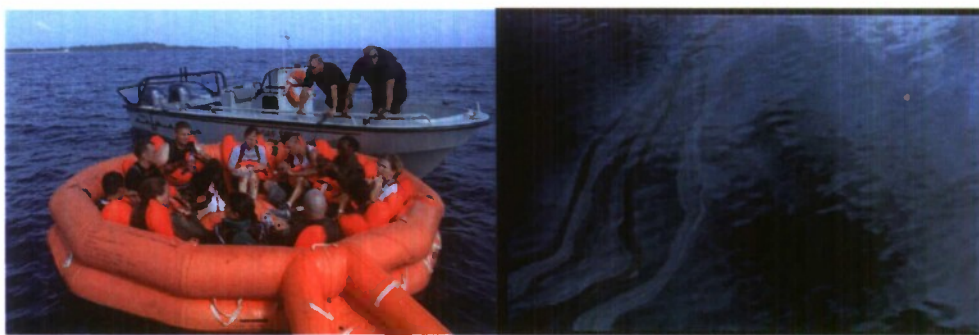
# METOC Impact Matrix Summary



Figuur 32 METOC Impact Matrix Summary gemaakt aan de hand van verwachtingen van de condities in de brandingszone bij de kust van Portugal tijdens de NURC MREA04 trial.

## 5 Modellen van oppervlakedrift

Een laatste categorie modellen in de operationele oceanografie kan men samenbrengen onder de noemer driftmodellen. Onder drift wordt verstaan de beweging van een op het wateroppervlak drijvend object als gevolg van de gecombineerde effecten van wind, stroming en golven op dit object. Het kan bijvoorbeeld gaan om de drift van een drenkeling, een reddingsvlot, of van een olievlek (figuur 33). De beweging van gliders of AUV's, die zich onder het wateroppervlak bevinden, valt hier dus niet onder. Modellen voor oppervlakedrift worden veel gebruikt in zogenaamde 'zoek en reddingsoperaties' ('search and rescue' operaties, ook wel afgekort met SAR, niet te verwarren met 'synthetic aperture radar') waarbij een in het water drijvend object gelocaliseerd moet worden. Voor gebruikers als kustwachten, havenautoriteiten en Marines is het essentieel om te weten in welk gebied men een drenkeling moet zoeken, of waar de uit een tanker gelekte olie terecht gaat komen.



Figuur 33 Voorbeelden voor de toepassing van driftverwachtingen: een reddingsvlot (links) en olievervuiling op zee (rechts).

In theorie is het mogelijk om de baan van een willekeurig drijvend voorwerp (of van een verzameling voorwerpen, zoals oliedeeltjes) te berekenen, mits voldoende informatie beschikbaar is over de aard van het voorwerp, de plaats waar het te water geraakt is en de omgevingscondities (wind, stroming en golven). In de praktijk is dit nooit het geval. Het is bijvoorbeeld nooit bekend wat precies de oriëntatie van een object ten opzichte van de wind was op het moment dat het te water raakte. Deze beginoriëntatie bepaalt echter of een object naar links of naar rechts ten opzichte van de benedenwindse richting ('downwind') zal gaan drijven. Daarnaast bevat de beschikbare informatie, zoals verwachtingen voor wind en stroming, talloze onzekerheden. Een driftverwachtingsmodel zal daarom geen verwachting maken voor het precieze pad dat een drijvend object zal afleggen, maar een verwachting van het meest waarschijnlijke gebied waarin het object zich na een gegeven tijd zal bevinden. Dit wordt gedaan door een groot aantal modelberekeningen te doen, elk met iets andere beginpositie, driftparameters, stromingen en wind.

### 5.1 Input en output

Een driftmodel heeft als input allereerst gegevens nodig over het soort object dat gemodelleerd moet worden (een drenkeling, reddingsboot, een schip, een olievlek, etc.) en over zijn laatst bekende positie. Daarnaast is zo nauwkeurig mogelijke informatie nodig over de wind aan het wateroppervlak en de oppervlactestroming. Deze komt over het algemeen uit operationele weers- en oceaانverwachtingsmodellen. Voor grotere



objecten (diameter groter dan ongeveer 50 m, bijvoorbeeld een stuurloos geworden schip) zijn ook de golven van invloed op de drift. Hiervoor worden gegevens van een operationeel golfmodel gebruikt.

De drift van een object hangt af van het type object. De Amerikaanse kustwacht heeft een lijst opgesteld met drifteigenschappen van 63 verschillende objecten. Een voorbeeld van enkele objecten van deze lijst is te zien in figuur 34.

Truncated SAR target taxonomy		
Leeway target classes		
Person in water (PIW)	Vertical	
	Sitting	
Survival craft	Horizontal	Survival suit
		Scuba suit
		Deceased
	Maritime life rafts	No ballast system
		Shallow ballast system w/ canopy
		Deep ballast system w/ canopy
	Other maritime	Life capsule
		USCG sea rescue kit
	Aviation life rafts	No ballast w/ canopy
		Evacuation slide
Person powered craft	Sea kayak	
	Surf board	
Sailing vessels	Windsurfer	
	Mono-hull	Full keel, deep draft
Power vessels	Skiffs	Fin keel, shoal draft
		Flat bottom Boston whaler
		V-hull
		V-hull cuddy cabin
		Center console, open cockpit
	Commercial fishing vessels (F/V)	Hawaiian sampan
		Japanese stern-trawler
		Japanese longliners
		Korean F/V
		Gill-netter w/ rear reel
Boating debris	F/V debris	
	Bait/wharf box	
Immigration vessel	Cuban refugee raft	With sail
		Without sail

The modern deep ballast rafts are further broken down into subclasses for loading, capacity, and the existence of a drogue (sea anchor). The leeway data for these categories are compiled by Allen and Plourde (1999) from field experiments performed by various search and rescue organizations worldwide.

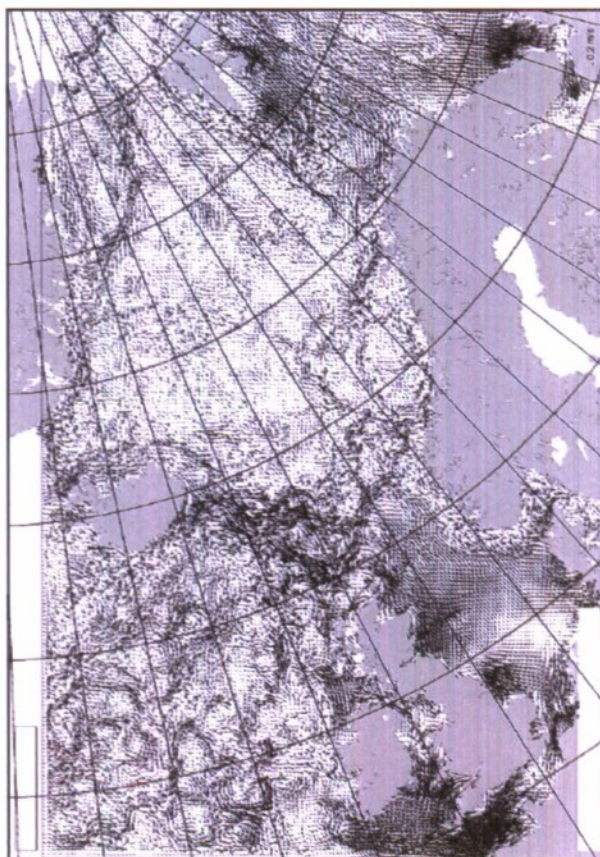
Figuur 34 Enkele categorieën van mogelijke objecten in het water. Deze tabel komt uit [23].

Deze eigenschappen bepalen hoe een object afdrijft (hoe snel en in welke richting ten opzichte van de wind) bij een bepaalde wind. In het geval van olie zijn weer andere gegevens nodig.

## 5.2 Voorbeelden en tactische producten

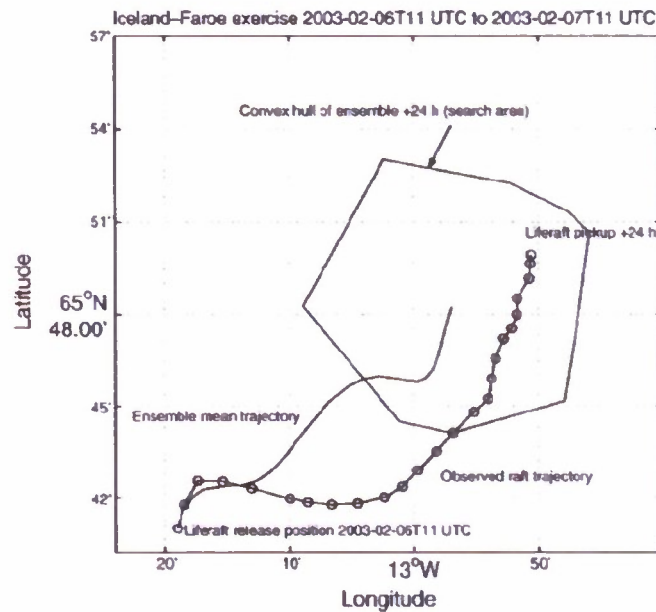
### 5.2.1 LEEWAY

Een voorbeeld van een operationeel zoek- en reddingsmodel is het LEEWAY model [23], dat ontwikkeld is door het Noorse Meteorologische Instituut. Het is toegespitst op de Noorse Zee, de Baltische Zee en de Noordzee. Dit model is operationeel sinds 2002, en geregistreerde gebruikers kunnen via het internet een simulatie met dit model aanvragen. Het model wordt door de Noorse Zoek en Reddingsdienst (Norwegian Search and Rescue Service) gebruikt als basis voor zoek- en reddingsoperaties op zee. Als input worden velden van het Noorse operationele weers- en oceaانverwachtings-model gebruikt voor de wind, en voor oceaانstromingen (figuur 35).



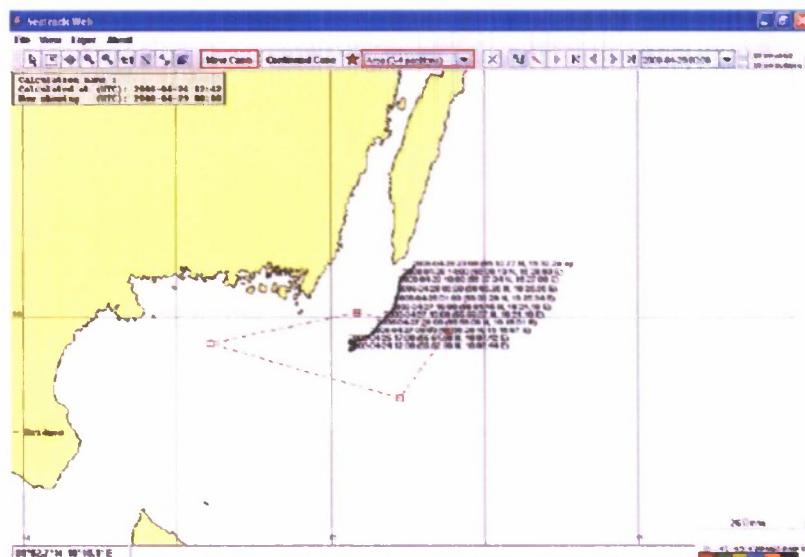
Figuur 35 Voorbeeld van de oceaانstromingen zoals die als input door het LEEWAY model gebruikt worden. Deze figuur is overgenomen uit [23].

In figuur 36 is een voorbeeld te zien van een vergelijking van de werkelijk afgelegde weg van een reddingsboot en het door LEEWAY berekende gemiddelde pad. De locatie waar de reddingsboot na 24 uur werd opgepikt ligt ruim binnen het door het model berekende zoekgebied. Een dergelijke figuur is een voorbeeld van een tactisch product dat met behulp van een model voor oppervlakedrift gemaakt kan worden.



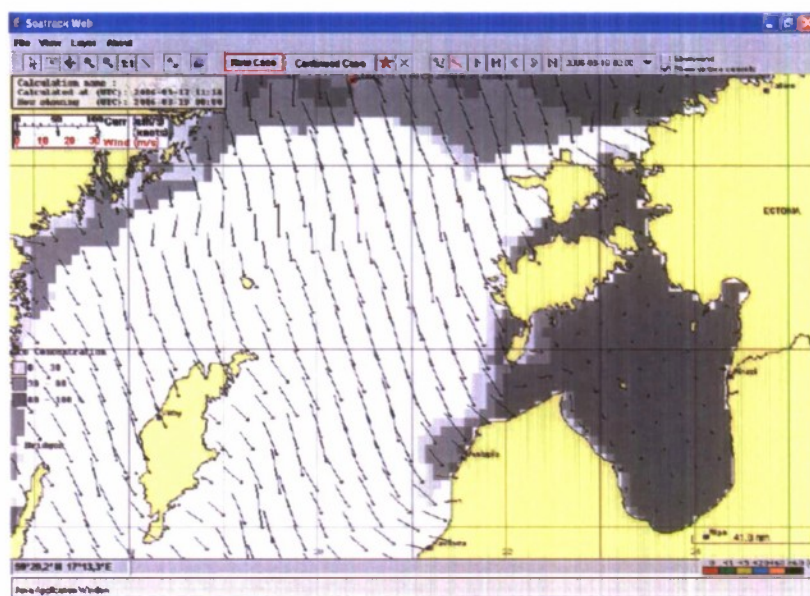
Figuur 36 Voorbeeld van een door LEEWAY berekend zoekgebied voor een test waarin een reddingsboot (life raft) uitgezet werd en 24 uur lang gevolgd werd. De werkelijk afgelegde weg van de reddingsboot is aangegeven met kleine cirkels, de door LEEWAY bepaalde meest waarschijnlijke weg is aangegeven met 'Ensemble mean trajectory'. Ook aangegeven is het door LEEWAY berekende zoekgebied na 24 uur. Deze figuur is overgenomen uit [23].

Een ander voorbeeld van een operationeel model voor oppervlaktedrift is het online model SeaTrack Web, dat is ontwikkeld is door het SMHI (Swedish Meteorological and Hydrological Institute) en het DAMSI (Danish Maritime Safety Administration). Gebruikers kunnen inloggen op de website (<http://pro.smhi.se/seatrack>) en kunnen direct online een simulatie starten. Het model is oorspronkelijk ontwikkeld voor het modelleren van olievervuiling, maar is uitgebreid zodat ook andere drijvende objecten gemodelleerd kunnen worden. Voorbeelden van output van dit model zijn te zien in figuur 37 en figuur 38.



Figuur 37 Voorbeeld van output van het SeaTrack model waarbij het afgelegde pad van een in het water drijvend object gemodelleerd is. Deze figuur komt uit de SeaTrack handleiding [24].





Figuur 38 Voorbeeld van output van het SeaTrack model waarbij de oppervlactestroming in een gedeelte van de Baltische Zee getoond wordt. Deze figuur komt uit de SeaTrack handleiding [24].

## 6 Samenvatting en conclusies

In dit rapport is een overzicht gegeven van de huidige stand van zaken en recente ontwikkelingen in de operationele oceanografie. Gedreven door onzekerheid over klimaatveranderingen is ook de civiele operationele oceanografie sterk in ontwikkeling. De grote aantallen ARGO floats die nu wereldwijd opereren zijn hier een voorbeeld van. In het bijzonder is bekeken welke operationeel oceanografische producten een bijdrage kunnen leveren aan tactische producten die van belang zijn voor REA. Er zijn vier mogelijkheden naar voren gekomen:

- *Verwachtingen van de detectiekans van targets met sonar*  
Operationele oceaanmodellen kunnen verwachtingen leveren van drie-dimensionale velden van temperatuur, saliniteit en (daarvan afgeleid) geluidssnelheid [9] [10]. Deze kunnen als input in een sonar performance prediction model zoals ALMOST gebruikt worden voor het maken van range- en bearing-afhankelijke verwachtingen voor de detectiekans van een target door een sonarsysteem. In vergelijking met de detectiekans die op dit moment gebruikt wordt door de KM (één detectiekans, niet afhankelijk van range of bearing) kan dit duidelijk voor meerwaarde zorgen. Details hierover zijn te vinden in een ander TNO-rapport [9].
- *Stroomsnelheidsverwachtingen ter ondersteuning bij het plannen van onder andere AUV-missies*  
De driedimensionale verwachtingen van stroomsnelheden die door operationele oceaanmodellen geleverd kunnen worden kunnen mogelijk gebruikt worden bij het plannen van missies van AUVs. Doordat de snelheid van AUVs van dezelfde ordegrootte kan zijn als de achtergrondstroming en doordat de batterijcapaciteit van AUVs beperkt is, kan de efficiëntie van een AUV-missie aanzienlijk beïnvloed worden. Kennis van de te verwachten stroomsnelheid (grootte en richting) in het operatiegebied kan dan helpen bij het zo goed mogelijk plannen van de missie. Stroomsnelheidsverwachtingen zijn ook van belang bij de planning van missies van duikers. Hierbij kan bijvoorbeeld gedacht worden aan een amfibisch verkenningsspeloton of MCM-duikers.
- *Ondersteuning bij operaties in de brandingszone*  
Bij operaties die zich in de brandingszone vlak bij de kust afspelen (bijvoorbeeld een amfibische landing) is het van belang een goed beeld te hebben van de lokale condities zoals golfhoogte en (golfgedreven) langsstromingen. Verwachtingen van (gecombineerde) golf- en brandingszone-modellen leveren grootheden als significante golfhoogte, dominante golfperiode en stoomsterkte. Deze kunnen omgezet worden in tactische producten als een 'modified surf index', aan de hand waarvan bepaald kan worden of bepaalde operaties of de inzet van bepaalde vaartuigen veilig mogelijk is. Dit laatste kan bijvoorbeeld aan de hand van een stoplichtfiguur.
- *Verwachtingen van de drift van drijvende objecten (bijvoorbeeld mijnen, drenkelingen)*  
Driftmodellen kunnen verwachtingen geven van meest waarschijnlijke gebieden waarin een drijvend object zoals een (drijvende) contactmijn, maar ook een drenkeling, zich na een bepaalde tijd bevindt. Ook kunnen met driftmodellen verwachtingen gemaakt worden voor de verspreiding van giftige stoffen en olievlekken.

De door TNO in de afgelopen jaren opgedane ervaring met het drie-dimensionale HOPS model (zie een ander TNO-rapport hierover [8]) toont dat het op operationele (real-time) basis maken van verwachtingen met een dergelijk model mogelijk is, ook aan boord van een schip. Hiervoor is echter wel veel specialistische kennis nodig, en ondersteuning van een team aan wal. Daarom lijkt het niet realistisch om te veronderstellen dat zulk soort verwachtingen standaard aan boord gemaakt kunnen worden. De inschatting is dat dit ook geldt voor de meeste andere modellen die in dit rapport besproken zijn. De mogelijkheid dat aan wal operationeel oceanografische modellen gedraaid kunnen worden indien nodig, en dat modelproducten of zelfs tactische producten overgestuurd worden aan boord, biedt echter zeker mogelijkheden voor de toekomst. Veel aandacht zal moeten worden geschonken aan communicatie-mogelijkheden en datastromen, zodat de juiste informatie op het juiste moment beschikbaar is. Dit aspect is in dit rapport nog buiten beschouwing gelaten, maar is wel degelijk zeer belangrijk.

Tactische producten gebaseerd op bovengenoemde toepassingen vormen een belangrijke aanvulling voor de toekomst op de informatie die verkregen kan worden met de in de Metoc Toolbox [1] beschikbare modellen. REA zou daarmee beter uitgevoerd kunnen worden, met een completer REP als resultaat. De intentie is dan ook om in het Doelfinancieringsprogramma V931 'Omgeving en onderwaterbeeldopbouw', dat in 2009 van start zal gaan, in overleg met betrokken partijen bij Defensie (onder andere DMO, Hydrografische Dienst) nader onderzoek te doen ten behoeve van een eventuele toekomstige operationele uitwerking van één of meer van deze toepassingen. Het aspect infrastructuur en dataverkeer wordt in dit onderzoek meegenomen. Daarnaast zal de TNO bijdrage aan internationale campagnes voortgezet worden, zodat trends en ontwikkelingen binnen de operationele oceanografie ook in de komende jaren gevolgd kunnen worden.



## 7 Referenties


- [1] Rapid Environmental Assessment in NLMARFOR, Concept of Operations, versie 0.0.4.
- [2] O.M. Johannessen, S. Sandven, A.D. Jenkins, D. Durand, L.H. Pettersson, H. Espedal, G. Evensen en T. Hamre (2000), *Satellite observation in operational oceanography*, Coastal engineering 41, pp 155-176.
- [3] P.E. Hagen, N. Størkersen, B.-E. Marthinsen, G. Sten en K. Vestgård (2008), *Rapid Environmental Assessment with autonomous underwater vehicles – Examples from HUGIN operations*, J. Mar. Systems 69, pp. 137-145.
- [4] D.C. Conley, A. Trangeled, G. Zappa, L. Gualdesi, P. Guerrini en R.A. Holman (2008), *Rapid environmental assessment in the nearshore*, J. Mar. Systems 69, pp. 74-85.
- [5] URL: <http://www.metoffice.gov.uk/research/ncof/foam/index.html>
- [6] URL: [http://www.shom.fr/fr\\_page/fr\\_act\\_oceano/cmo\\_tlse/activite/soap\\_f.html](http://www.shom.fr/fr_page/fr_act_oceano/cmo_tlse/activite/soap_f.html)
- [7] D.S. Ko, P.J. Martin, C.D. Rowley en R.H. Preller (2008) *A real-time coastal ocean prediction experiment for MREA04*, J. Mar. Systems 69, pp. 17-28.
- [8] M.W. Schouten, F.P.A. Lam en L.A. te Raa, *Operational ocean modelling with the Harvard Ocean Prediction System (HOPS)*, TNO-rapport, TNO-DV 2008 A417, 2008.
- [9] L.A. te Raa, F.P.A. Lam, M. Colin en M.W. Schouten, *Range-dependent acoustic modelling*, TNO-rapport, TNO-DV 2008 A416, 2008.
- [10] F.P.A. Lam, P.J. Haley Jr., J. Janmaat, P.F.J. Lermusiaux, W.G. Leslie, M.W. Schouten, L.A. te Raa en M. Rixen, *At-sea real-time coupled four-dimensional oceanographic and acoustic forecasts during Battle Space Preparation 2007*, J. Mar. systems, REA Special issue, 2009, accepted for publication.
- [11] Sherman, J., R. Davis, W. B. Owens en J. Valdes (2001), *The autonomous underwater glider 'Spray'*. IEEE Journal of Oceanic Engineering 26: 437-446.
- [12] Rudnick, D.L., Davis, R.E., Eriksen, C.C., Fratantoni, D.M. en Perry, M.J. (2004), *Underwater gliders for ocean research*, Mar. Tech. Soc. Journal, vol 38, pp. 48-59.
- [13] Jones, C., Glenn, S. en Schofield, O., *Slocum gliders make historic voyages*, Hydro International, Sept 2008, pp. 20-23.
- [14] Stommel, H., (1989), *The Slocum mission*, Oceanography 2 (1), pp. 22-25.

- [15] SWAN team, (2008) *SWAN technical documentation*, TU Delft, 95pp, verkrijgbaar via <http://www.fluidmechanics.tudelft.nl/swan/index.htm>
- [16] WAMDI group: S. Hasselmann, K. Hasselmann, E. Bauer, P.A.E.M. Janssen, G.J. Komen, L. Bertotti, P. Lionello, A. Guillaume, V.C. Cardone, J.A. Greenwood, M. Reistad, L. Zambresky en J.A. Ewing, *The WAM model - a third generation ocean wave prediction model*. 1988, J. Phys. Oceanogr. 18, 1775-1810.
- [17] G.J. Komen, L. Cavaleri, M. Donelan, K. Hasselmann, S. Hasselmann en P.A.E. M. Janssen, *Dynamics and modelling of ocean waves*, 1994, 532 pp.
- [18] P.A.E.M. Janssen, B. Hansen en J.-R. Bidlot, *Verification of the ECMWF Wave Forecasting System against Buoy and Altimeter Data*, Weather and Forecasting, 1997, vol 12, pp. 763- 784.
- [19] H.L. Tolman, User Manual and System Documentation of WAVEWATCH-III Version 2.22, NCEP Technical Note (2002) 133 pp.
- [20] R. Allard, J. Dykes, Y.L. Hsu, J. Kaihatu en D. Conley, *A real-time nearshore wave and current prediction system*, J. Mar. Systems 69 (2008) pp. 37-58.
- [21] D. Osiecki, L.N. Miguez, M.D. Earle en Y.L. Hsu, *Software design document for the oceanographic and atmospheric master library SURF 3.1 forecasting program*, 2000, NRL report, Stennis Space Center, 203 pp.
- [22] G. Christie (2006) *The SWANSURF Wave Model: Implementation and User Manual*, Defence Science and Technology Organisation report, 52 pp.
- [23] Ø. Breivik en A.A. Allen, *An operational search and rescue model for the Norwegian Sea and the North Sea*, J. Mar. Systems 69 (2008), pp. 99-113.
- [24] *Manual SeaTrack Web, A user-friendly program for forecasts and presentation of the spreading of oil, chemicals and substances in water, Version 2.4.0*, 2008, 31 pp., verkrijgbaar via <http://produkter.smhi.se/seatrack/stwmanu.pdf>.

## 8 Ondertekening

Den Haag, november 2008

TNO Defensie en Veiligheid

A handwritten signature in purple ink, consisting of a stylized 'S' followed by a long, sweeping horizontal stroke.

ir. F.P.G. Driessen  
Afdelingshoofd

A handwritten signature in black ink, featuring a stylized 'L' and 'A' followed by 'te Raaij'.

dr. L.A. te Raaij  
Auteur

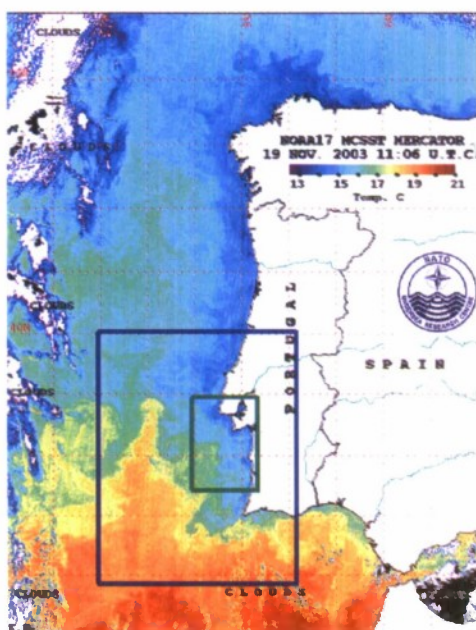


## A Operationele oceanografie in de praktijk

Veel van de trends en ontwikkelingen in de operationele oceanografie die besproken worden in dit rapport kunnen geïllustreerd worden aan de hand van internationale campagnes en grootschalige projecten die de afgelopen jaren hebben plaatsgevonden. Enkele voorbeelden worden hier kort besproken.

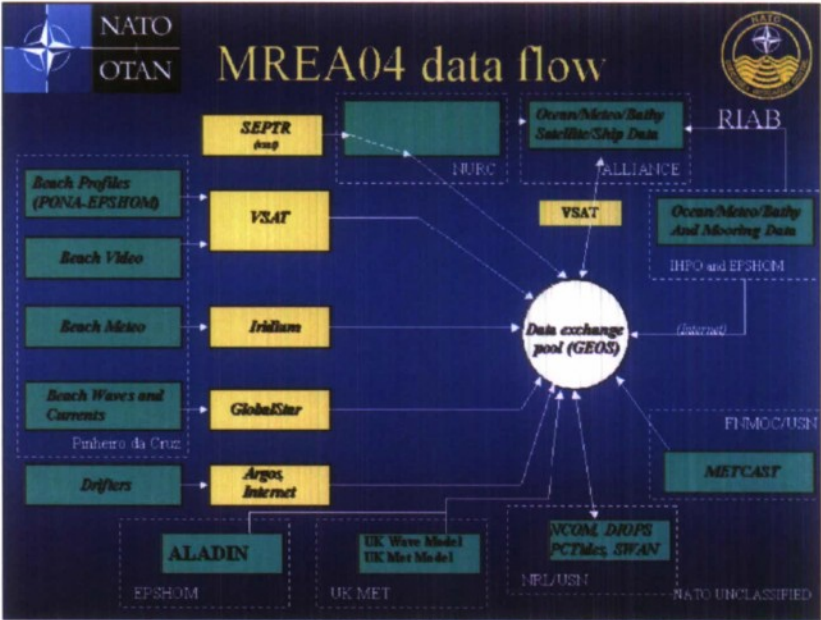
### A.1 MREA04

In het voorjaar van 2004 vond voor de Portugese kust de MREA04 trial plaats (figuur A.1). Deze grote NURC campagne met de R/V Alliance deden 10 partners mee, waaronder TNO.

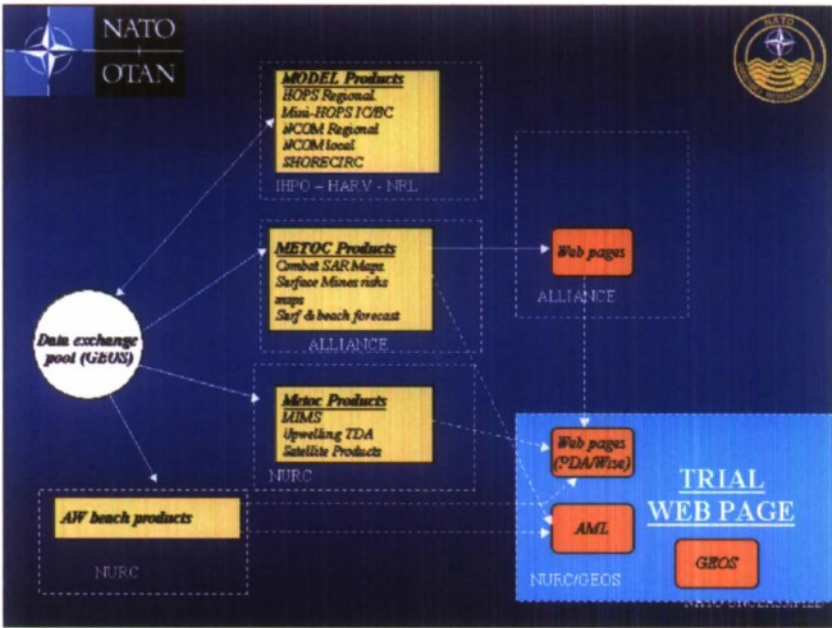


Figuur A.1 Gebied waarin de MREA04 trial plaatsvond. De met blauw en groen omkaderde gebieden geven de model domeinen weer. De kleuren geven de oppervlaktetemperatuur op basis van satellietwaarnemingen weer.

Naast operationele meteorologische modellen (voor het leveren van gegevens over bijvoorbeeld de wind) werden hiervoor 3 verschillende oceaanmodellen en 6 verschillende golfmodellen en modellen voor de brandingszone gebruikt. Ook werden satellietgegevens verzameld en geanalyseerd in real-time, zodat deze gebruikt konden worden in modelverwachtingen. Daarnaast zijn ook waarnemingen gedaan met behulp van XBT's, CTD's, ADCP's, floats, boeien, AUV's en verankeringen (onder andere het SEPTR systeem). Ook werd een camera en video systeem gebruikt voor het monitoren van de brandings- en kustzone (zie ook de voorbeelden in sectie 2.8 en sectie 4.3.2). Schema's van de datastromen tijdens deze trial zijn weergegeven in figuur A.2 en figuur A.3. Alle gegevens werden nog tijdens de trial op een webpagina geplaatst en zijn vanaf daar voor alle partners toegankelijk (figuur A.4). Op deze manier heeft ook TNO toegang tot een grote hoeveelheid observaties en modelgegevens. De TNO-bijdrage aan deze campagne wordt verder besproken in een ander TNO-rapport [8].



Figuur A.2 Gegevensstromen die naar de dataserver toegaan tijdens het MREA04 experiment.



Figuur A.3 Gegevensstromen die van de dataserver afkomen en naar de webpagina toegaan tijdens het MREA04 experiment.

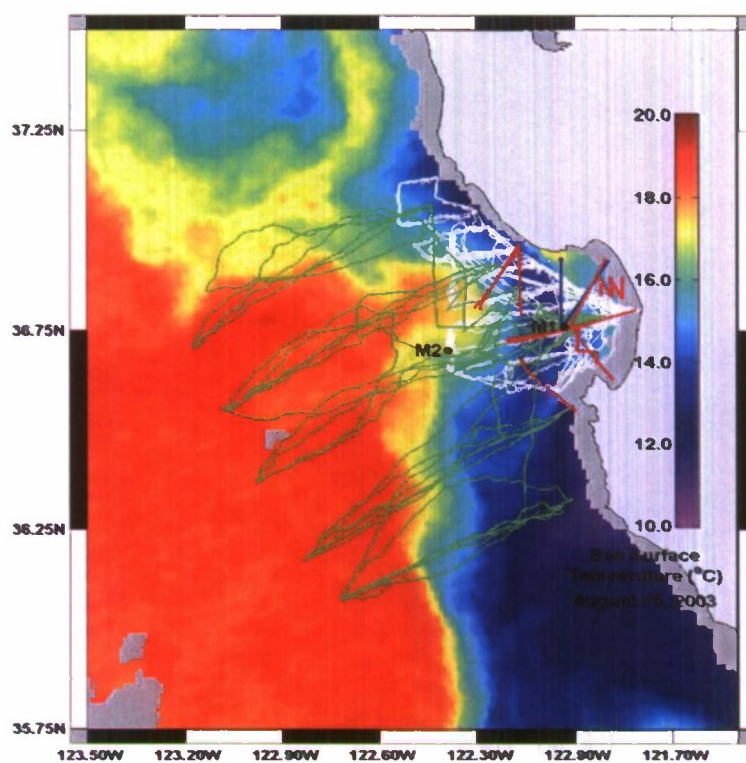


Figuur A.4 Webpagina met data van de MREA04 campagne.

## A.2 AOSN-II

In augustus 2003 vond het Autonomous Ocean Sampling Network (AOSN) experiment plaats. Naast 4 schepen werd een groot aantal AUV's en gliders ingezet (figuur A.5). Ook werd onder andere gebruik gemaakt van verankerde boeien, floats, een ADCP en diverse satellietensensoren.

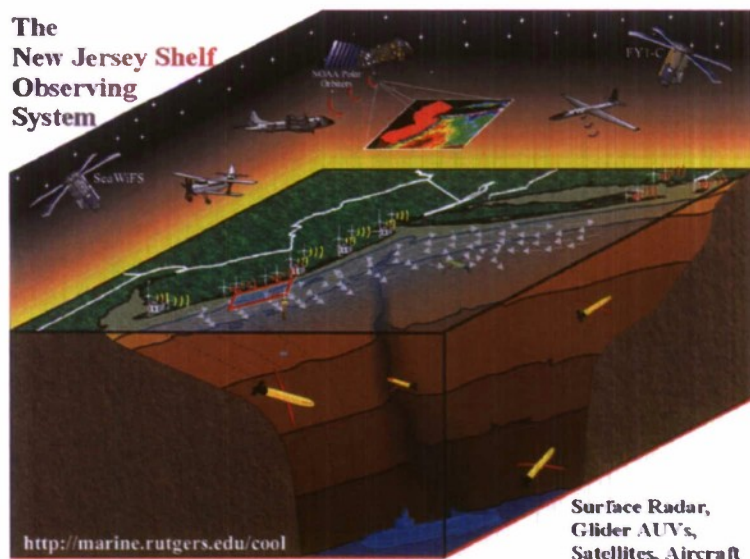




Figuur A.5 Banen van AUV's en gliders tijdens het AOSN-II experiment. De kleuren geven de oppervlaktetemperatuur van 15 augustus 2003 weer. De locatie van de twee verankeringen die gebruikt werden tijdens dit experiment zijn aangegeven met 'M1' en 'M2'.

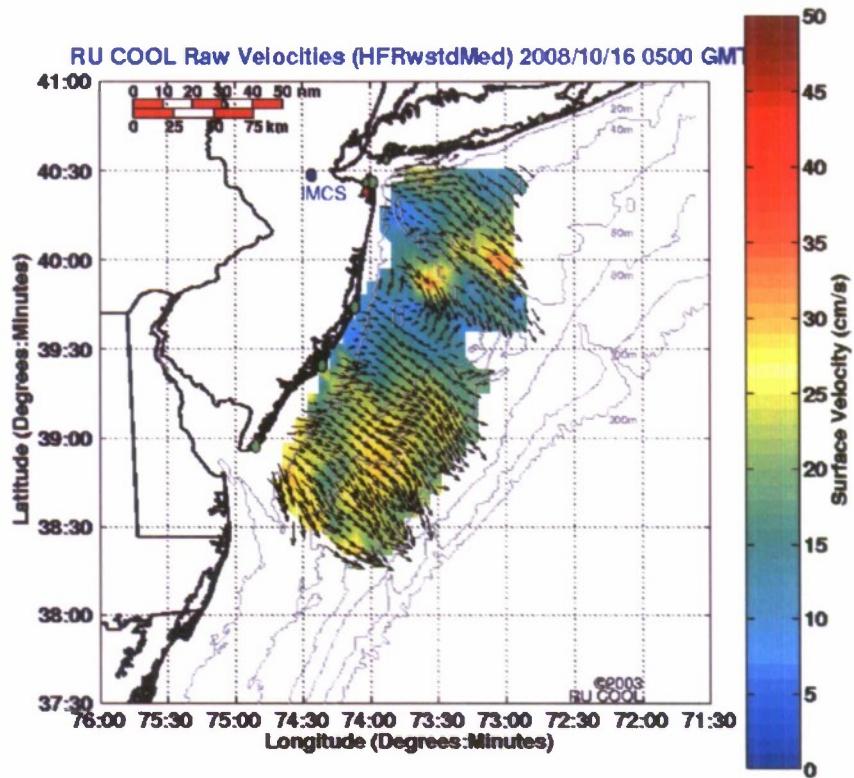
### A.3 Coastal Ocean Observation Lab (COOL) – Rutgers University

Het Coastal Ocean Observation Lab (COOL) is een onderdeel van de Rutgers Universiteit in New Jersey dat zich richt op operationele oceanografie ten behoeve van een groot publiek. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van een groot aantal verschillende sensoren en platforms, waaronder satellieten, vliegtuigen, schepen, AUV's, gliders en HF-radar (figuur A.6).



Figuur A.6 Schematische weergave van het observationele netwerk voor de kust van New Jersey.

Al deze gegevens worden real-time gepubliceerd op een voor iedereen toegankelijke webpagina (<http://www.thecoolroom.org/>). Via spotjes op de locale tv wordt het algemene publiek geïnformeerd over operationele oceanografie en de producten die beschikbaar zijn. Doelgroepen zijn onder andere sportvissers, zwemmers en surfers, die hier de actuele informatie kunnen bekijken over bijvoorbeeld zeewatertemperatuur, oppervlaktestroming en golfhoogtes langs de kust van New Jersey. Een voorbeeld van een kaart van oppervlaktestroming van op 16 oktober van deze website is te zien in figuur A.7.



Figuur A.7 Gemeten oppervlactestroming voor de kust van New Jersey. De kleuren geven de grootte van de stroming weer, de pijlen de richting.



ONGERUBRICEERD  
REPORT DOCUMENTATION PAGE  
(MOD-NL)

1. DEFENCE REPORT NO (MOD-NL) <b>TD2008-0175</b>	2. RECIPIENT'S ACCESSION NO <b>-</b>	3. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NO <b>TNO-DV 2008 A418</b>
4. PROJECT/TASK/WORK UNIT NO <b>032.11199</b>	5. CONTRACT NO <b>-</b>	6. REPORT DATE <b>November 2008</b>
7. NUMBER OF PAGES <b>54</b> (incl 1 appendix, excl RDP & distribution list)	8. NUMBER OF REFERENCES <b>24</b>	9. TYPE OF REPORT AND DATES COVERED <b>Final</b>
10. TITLE AND SUBTITLE <b>Operational oceanography and 'Rapid Environmental Assessment' (Operationele oceanografie en 'Rapid Environmental Assessment')</b>		
11. AUTHOR(S) <b>Dr L.A. te Raa Dr F.P.A. Lam Dr M.W. Schouten, MSc</b>		
12. PERFORMING ORGANIZATION NAME(S) AND ADDRESS(ES) <b>TNO Defence, Security and Safety, P.O. Box 96864, 2509 JG The Hague, The Netherlands Oude Waalsdorperweg 63, The Hague, The Netherlands</b>		
13. SPONSORING AGENCY NAME(S) AND ADDRESS(ES) <b>Royal Netherlands Navy</b>		
14. SUPPLEMENTARY NOTES <b>The classification designation Ongerubriceerd is equivalent to Unclassified, Stg. Confidentieel is equivalent to Confidential and Stg. Geheim is equivalent to Secret.</b>		
15. ABSTRACT (MAXIMUM 200 WORDS (1044 BYTE)) <b>This report presents an overview of sensors, platforms and models that are currently in use in operational oceanography. New opportunities for the Royal Netherlands Navy in the use of operational oceanography for Rapid Environmental Assessment (REA) are identified. In the rapidly developing field of operational oceanography the use of AUVs, gliders, floats and satellites is increasing quickly. Operational oceanographic models include three-dimensional ocean models, wave models and models for surface drift. Possible applications of operational oceanography in REA include improved sonar performance predictions with three-dimensional sound speed forecasts, support of AUV mission planning with the help of current predictions, support of the planning of amphibious operations by using wave products and support of mine counter measures with forecasts of areas in which floating mines may be found.</b>		
16. DESCRIPTORS <b>Operational oceanography, Maritime environment, Ocean modelling, Rapid environmental assessment, Situation awareness</b>		IDENTIFIERS <b>-</b>
17a. SECURITY CLASSIFICATION (OF REPORT) <b>Ongerubriceerd</b>	17b. SECURITY CLASSIFICATION (OF PAGE) <b>Ongerubriceerd</b>	17c. SECURITY CLASSIFICATION (OF ABSTRACT) <b>Ongerubriceerd</b>
18. DISTRIBUTION AVAILABILITY STATEMENT <b>Unlimited Distribution</b>		17d. SECURITY CLASSIFICATION (OF TITLES) <b>Ongerubriceerd</b>

ONGERUBRICEERD

# Distributielijst

**Onderstaande instanties/personen ontvangen een volledig exemplaar van het rapport.**

- |       |   |
|-------|---|
| 1     | DMO/SC-DR&D<br>standaard inclusief digitale versie bijgeleverd op cd-rom  |
| 2/3   | DMO/DR&D/Kennistransfer   |
| 4/6   | Programma- en Projectbegeleider Defensie<br>LTZ1 B.E.A Kerstens (3x)<br>Mindef/DMO/DWS&B/RZS&B/Sensor- en Wapentechnologie (SWT)  |
| 7/9   | Bibliotheek KMA   |
| 10    | Mindef/DMO/DWS&B/RZS&B/Sensor- en Wapentechnologie (SWT)<br>LTZ1 R.P.A. Dekeling  |
| 11    | CAMS/FV<br>drs. A.V. van Leijen   |
| 12    | Mindef/DS/CZSK/Dienst der Hydrografie<br>LTZ1 J.J.M. Bertelink  |
| 13    | Mindef/DS/CZSK/Dienst der Hydrografie<br>LTZ1 A. van den broek  |
| 14    | COMNLMARFOR<br>Gebouw Zilvermeeuw   |
| 15    | MARSITCEN<br>Maritiem Situatie Centrum, Marine Hoofdkwartier/KustwachtCentrum,  |
| 16    | MDTC  |
| 17    | OPS   |
| 18    | CODAM   |
| 19    | Bibliotheek KIM   |
| 20/21 | TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Den Haag,<br>Archief  |
| 22    | Programmaleider TNO Defensie en Veiligheid<br>dr. ir. J.C. Sabel  |
| 23/31 | TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Den Haag,<br>Business Unit Waarnemingssystemen,<br>dr. F.P.A. Lam<br>dr. ir. M.W. Schouten<br>dr. L.A. te Raai<br>dr. G.B. Blacquièr<br>ir. F.P.G. Driessen<br>ing. J. Janmaat<br>dr. M.A. Ainslie<br>ir. A.C. van Koersel<br>dr. A.M.J. van Eijk |

**Onderstaande instanties/personen ontvangen het managementuittreksel  
en de distributielijst van het rapport.**

- 4 ex. DMO/SC-DR&D
- 1 ex. DMO/ressort Zeesystemen
- 1 ex. DMO/ressort Landsystemen
- 1 ex. DMO/ressort Luchtsystemen
- 2 ex. BS/DS/DOBBP/SCOB
- 1 ex. MIVD/AAR/BMT
- 1 ex. Staf CZSK
- 1 ex. Staf CLAS
- 1 ex. Staf CLSK
- 1 ex. Staf KMar
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, Algemeen Directeur,  
ing. J.V. Elsendoorn
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, Directie  
Directeur Operaties, drs. H.J. Vink
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, Directie  
Directeur Kennis, prof. dr. P. Werkhoven
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, Directie  
Directeur Markt, G.D. Klein Baltink
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Den Haag,  
Manager Waarnemingssystemen (operaties), ir. B. Dunnebie PDeng
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Den Haag,  
Manager Informatie en Operaties (operaties), ir. P. Schulein
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Rijswijk, daarna reserve  
Manager Bescherming, Munitie en Wapens (operaties), ir. P.J.M. Elands
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Rijswijk,  
Manager BC Bescherming (operaties), ir. R.J.A. Kersten
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Soesterberg,  
Manager Human Factors (operaties)